

Raphael Eduardo de Aguiar

POWER LINE COMMUNICATION:
TRANSMISSÃO DE DADOS POR MEIO DE CABEAMENTOS
ELÉTRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Departamento de
Engenharia Elétrica e Eletrônica da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Dr. Walter Pereira
Carpes Junior.

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Aguiar, Raphael Eduardo de
Power Line Communication: Transmissão de Dados por Meio de
Cabeamentos Elétricos / Raphael Eduardo de Aguiar; orientador,
Walter Pereira Carpes Junior. 81 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em
Engenharia Elétrica, Florianópolis.

Inclui referências.

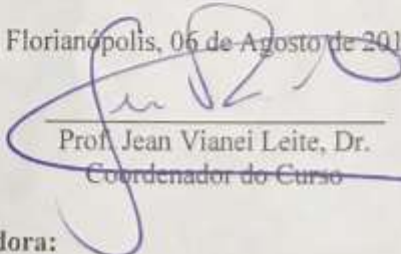
1. Engenharia Elétrica. 2. PLC. 3. *Homeplugs*. 4. OFDM. I. Carpes
Junior, Walter Pereira. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

Raphael Eduardo de Aguiar

**POWER LINE COMMUNICATION: TRANSMISSÃO DE DADOS
POR MEIO DE CABEAMENTOS ELÉTRICOS**

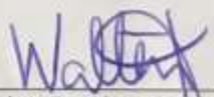
Este Trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pela Banca
Examinadora.

Florianópolis, 06 de Agosto de 2018.

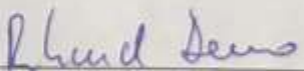


Prof. Jean Viane Leite, Dr.
Coordenador do Curso

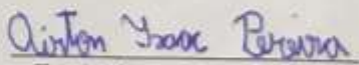
Banca Examinadora:



Prof. Walter Pereira Carnes Junior, Dr.
Orientador (a)
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Richard Demo Souza, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Engº Airton Isaac Pereira
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado
primeiramente a Deus, meus pais,
amigos e professores.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, João Carlos e Eloisa e ao meu irmão Caio, por me apoiarem em todos os momentos e acreditarem em mim mais do que eu jamais poderia desejar.

A todos os meus familiares, em especial à minha tia Ivanise e minha avó Teresinha, por me apoiarem emocionalmente, sempre me motivando e servindo de apoio.

A todos os meus amigos, em especial Daniel e Emanuel, que tiveram que ser compreensivos por todos os momentos em que tive que me ausentar dos encontros e eventos pela graduação e agradecer-lhes por sempre estarem do meu lado, me apoiando e comemorando durante esses anos.

Aos meus colegas de graduação, em especial ao Daniel, Mateus, Leonardo, Lucas, Silas, Dayani, Alena e Jéssica, por dividirem vários momentos complicados, horas de estudos, trabalhos e vitórias comigo.

Ao Pedro, por toda paciência, dedicação, apoio, companheirismo e carinho nessa reta final. Não tenho como agradecer-lhe o suficiente por nunca ter me deixado fraquejar.

Por fim, gostaria de agradecer todos os mestres que atravessaram meu caminho durante todas as etapas de minha formação, em especial aos meus orientadores Walter e Richard, que persistiram em me instruir, mesmo com todas as dificuldades. À minha eterna melhor professora de matemática Tania, a qual despertou em mim todo o interesse pelos cálculos me trazendo até aqui. E tantos outros como, Bartolomeu, Fabio e Jaci, tão importantes quanto.

São as nossas escolhas que revelam o que realmente somos, muito mais do que as nossas qualidades. (J.K. Rowling, 1998)

RESUMO

Neste trabalho serão apresentados conceitos, técnicas e padrões utilizados nas áreas das telecomunicações, com o intuito de explicar a tecnologia PLC, fazendo um estudo sobre o estado da arte no Brasil e no mundo. Com este embasamento, ao fim do trabalho observaremos o comportamento de um *Homeplug* PLC comercial, utilizando-o e descrevendo em diversos testes todo seu comportamento, desempenho, vantagens e desvantagens, e uma análise de mercado frente a outras tecnologias.

Palavras-chave: PLC 1. Power Line Communication 2. *Homeplug* 3. PLC no mundo 4. MIMO PLC 5.

ABSTRACT

This work presents concepts, techniques and standards used in the areas of telecommunications, with the purpose of explaining the PLC technology, making a study about the state of the art in Brazil and in the world. With this foundation, at the end of the work we will observe the behavior of a commercial PLC Home plug, using it and describing in various tests all the behavior, performance, advantages and disadvantages, and a market analysis against other technologies.

Keywords: PLC 1. Power Line Communication 2. Homeplug 3. PLC in the world 4. MIMO PLC 5.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Configuração geral do Projeto PLC da Copel.....	21
Figura 2 - Projeto experimental da <i>LIGHT</i> para rede PLC.....	23
Figura 3 – Sinal de Energia Elétrica e Sinal Modulado.....	26
Figura 4 – Ortogonalidade entre diferentes subportadoras.....	27
Figura 5 – Exemplo da modulação Spread Spectrum.....	28
Figura 6 – Transmissão SISO.....	30
Figura 7 - Técnicas de Múltiplas Antenas.....	31
Figura 8 – Sistema MIMO 2x2.....	32
Figura 9 – Formato de Quadro Longo.....	37
Figura 10 – Formato do Quadro Curto.....	39
Figura 11 – Exemplo de Mapa Tonal Discretizado.....	40
Figura 12 – Diagrama da comunicação <i>Homeplug AV</i>	41
Figura 13 - Homeplug AV 200Mbps Ethernet Bridge.....	44
Figura 14 – Cenário básico com software <i>Iperf</i>	45
Figura 15 – Largura de Banda TCP analisada no <i>Homeplug</i>	46
Figura 16 - Largura de Banda UDP analisada no <i>Homeplug</i>	47
Figura 17 – Teste de Perda de Pacotes cenário TCP.....	48
Figura 18 - Teste de Perda de Pacotes cenário UDP.....	48
Figura 19 – Cenário do Experimento <i>VoIP</i>	49
Figura 20 – Captura Wireshark chamada <i>VoIP PLC</i>	50
Figura 21 – Teste de perda de pacotes.....	50
Figura 22 – Teste de largura de banda Cenário 1.....	52
Figura 23 – Teste de largura de banda Cenário 2.....	53
Figura 24 – Teste de largura de banda Cenário 3.....	53
Figura 25 – Comparativo Cenários em TCP.....	54
Figura 26 – Comparativo Cenários em UDP.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Campo <i>frame control</i> e suas funções.....	38
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre os padrões de *Homeplugs PLC* .. 42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PLC – *Power Line Communication*
MIMO – *Multiple Input Multiple Output*
SISO – *Single Input Single Output*
SIMO – *Single Input Multiple Output*
MISO – *Multiple Input Single Output*
AT&T – *American Telephone and Telegraph*
GE – *General Electric*
RC – *Ripple Control*
DPL – *Digital Power Line*
PLTF – *Power Line Telecommunications Forum*
FDM – *Multiplexação por Divisão de Frequência*
OFDM – *Orthogonal frequency-division multiplexing*
BER – *Taxa de Erro por Bit*
SNR – *Relação Sinal Ruído*
IBGE – *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*
COPEL – *Companhia Paranaense de Energia*
CEMIG – *Companhia Energética de Minas Gerais*
LIGHT – *Grupo Light de Energia Elétrica*
DES – *Data Encryption Standard*
NSA – *National Security Agency*
IEEE – *Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos*
ARQ – *Automatic Repeat Request*
PCS – *Physical Coding Sublayer*
FCS – *Frame Check Sequence*
CSMA/CA – *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*
BPSK – *Binary Phase Shift Keying*
QPSK – *Quadrature Phase Shift Keying*
QAM – *Quadrature Amplitude Modulation*
AFE – *Analog Feed End*
HD – *High Definition*
TCP – *Transmission Control Protocol*
UDP – *User Datagram Protocol*
VoIP – *Voice Over IP*
IP – *Internet Protocol*
ANATEL – *Agência Nacional de Telecomunicações*
ANEEL – *Agência Nacional de Energia Elétrica*
CCo – *Central Coordinator*
AVLN – *Rede Lógica AV*
NMK – *Chave de Membros da Rede*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	Objetivos gerais.....	17
1.1.2	Objetivo específico.....	17
2	HISTÓRICO DA TECNOLOGIA	19
2.1	PLC PELO MUNDO.....	19
2.2	PLC NO BRASIL.....	21
3	COMUNICAÇÃO PELO CABEAMENTO ELÉTRICO	25
3.1	SEGMENTOS DA REDE.....	25
3.2	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	25
3.2.1	Faixa de frequência de operação.....	25
3.2.2	Modulação e Multiplexação.....	26
3.2.2.1	Modulação OFDM.....	27
3.2.2.2	Spread Spectrum.....	28
3.2.3	Segurança.....	29
3.3	MÉTODOS DE TRANSMISSÃO.....	30
3.3.1	SISO.....	30
3.3.2	MIMO.....	31
3.4	REGULAMENTAÇÃO.....	33
3.4.1	Resolução Nº 527 da ANATEL.....	33
3.4.2	Resolução Nº 375 da ANEEL.....	34
3.4.3	Norma IEEE 1901.....	35
3.5	Vantagens e Desvantagens da Tecnologia.....	35
3.5.1	Vantagens.....	35
3.5.2	Desvantagens.....	36
4	Homeplugs PLC.....	37
4.1	Homeplug 1.0.....	37
4.2	Homeplug AV.....	39
4.3	Homeplug AV2.....	41

5	Ensaios com <i>Homeplug Modelo</i>	43
5.1	Especificações do <i>Homeplugs Modelo</i>	43
5.1.1	Teste de Largura de Banda	44
5.1.1.1	TCP	45
5.1.1.2	UDP.....	46
5.1.2	Teste de Perda de Pacotes.....	47
5.1.3	Teste com ligação VoIP.....	48
5.1.4	Interferências Detectadas	51
5.2	Conclusão dos testes de largura de banda	52
	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	57
	ANEXO A – Resolução Normativa N° 375 ANEEL	61
	ANEXO B – Resolução Normativa N° 527 ANATEL	65

1 INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea passa por inúmeras mudanças comportamentais e culturais, impactadas pelos meios de comunicação como a televisão, os telefones celulares e a Internet. Porém, essas mutações só foram provocadas devido aos avanços tecnológicos nas áreas das telecomunicações.

O aperfeiçoamento dos equipamentos e o aumento da disponibilização do acesso à internet estão integrando o mundo em redes globais, provocando uma corrida atrás da informação.

Contudo, existem ambientes onde alcançar a rede pode ser algo um tanto quanto desafiador: locais com infraestruturas antigas, sem o planejamento devido para a transmissão de dados; áreas remotas onde não existe a possibilidade de expansão de cabeamento estruturado, entre outras. Com este propósito, será introduzida neste trabalho a tecnologia PLC, que faz uso do cabeamento elétrico, o qual está quase sempre disponível nas indústrias e residências para agora auxiliar também na difusão da informação.

No início de sua utilização, seu propósito era apenas para controle das subestações de distribuição de energia em caso de falhas, ou seja, o fluxo de dados relacionando aos utilizados atualmente nas redes como a de internet era então incomparável.

O *Power Line Communication* (PLC) vem conquistando um espaço muito significativo pelo mundo. A tecnologia, que ainda não é amplamente difundida em território nacional, é de conhecimento e utilização diária de muitos usuários de internet residenciais e comerciais ao redor do planeta, por meio dos *Homeplugs*. Alguns países europeus, como por exemplo a França, já utiliza o PLC *outdoor* como alternativa de meio de distribuição vindo das operadoras (MODRO, 2010), algo em que no Brasil existem apenas estudos por algumas concessionárias de energia como a COPEL, CEMIG e algumas outras (BRANDÃO, 2012).

O trabalho de maneira geral será dividido da seguinte forma: a parte inicial tratará do histórico da tecnologia PLC, no Brasil e também no mundo. A segunda parte irá abordar a tecnologia em si, seu princípio de funcionamento, frequências utilizadas, modulação, codificação e topologias, assim como uma análise de mercado. Neste mesmo estágio do trabalho, serão citados os principais *tradeoffs*, vantagens e desvantagens da utilização do PLC.

Na parte final, será demonstrada a utilização de um *Homeplug* PLC *indoor*, em que serão feitas análises de seu funcionamento, como a

modulação utilizada, a codificação, a interferência por ruído causada/gerada, finalizando então com uma conclusão sobre os testes realizados com o *Homeplug modelo*.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos gerais

O presente trabalho tem como objetivo principal realizar estudos, detalhar o funcionamento, apresentar análises e a validação da tecnologia, em ambiente *indoor*, que permite a transmissão de dados via rede de energia elétrica, chamada de *Power Line Communication* (PLC).

1.1.2 Objetivo específico

Procurando proporcionar uma solução que possa atingir uma grande quantidade de usuários, a tecnologia PLC mostra-se como algo bastante competitivo quando comparado com os outros métodos de transmissão de dados existentes. Sua grande diferença está na facilidade de instalação. Com isso, o trabalho pretende ter como objetivos específicos:

- Apresentar os avanços da tecnologia PLC no Brasil e no mundo;
- Descrever seu funcionamento básico de modulação e demodulação sobre o cabeamento de energia elétrica;
- Analisar os *tradeoffs* de vantagens e desvantagens desta forma de comunicação;
- Realizar um estudo de mercado da tecnologia PLC;
- Apresentar as regulamentações existentes no Brasil e em alguns outros países que utilizam a tecnologia;
- Mostrar um estudo de caso utilizando um par de *Homeplugs* PLC modelo.

2 HISTÓRICO DA TECNOLOGIA

2.1 PLC PELO MUNDO

Os primeiros sistemas que utilizaram o PLC datam o início do século 20, em redes elétricas de alta tensão as quais cobriam áreas de até 500 km. No ano de 1914, a empresa AT&T (*American Telephone and Telegraph Company*), retinha pela primeira vez as patentes de transmitir dados por linhas de transmissão de energia elétrica trifásica (CUNHA, 2009). Porém, transmitir dados em grande quantidade é algo muito mais recente.

No ano de 1929, um jornal Austríaco publicou que cerca de 1000 sistemas utilizando a rede de energia para transportar dados haviam sido instalados até o momento, em todo território dos Estados Unidos e da Europa, sendo que a maioria da infraestrutura Europeia se encontrava na Alemanha (CUNHA, 2006).

O sistema Norte-Americano era essencialmente planejado e executado por três grandes empresas do ramo (GE, Westinghouse e Western Electric AT&T), e usava duas das três fases da rede de energia para transmitir informações. Na Alemanha, a principal empresa do ramo era a Telefunken.

Esses sistemas utilizados eram chamados de Power Line Carrier, os quais foram massivamente utilizados por concessionárias de energia elétrica de alta tensão para transmissão de dados, mas com uma taxa muito baixa.

Apenas por volta de 1930 que de fato foi possível completar as primeiras transmissões através do *Ripple Control* (RC). Esta é a primeira técnica criada para a comunicação via cabeamento da rede elétrica (SANTOS, 2008). A principal finalidade do RC era de transmitir, em frequências baixas (entre 100 Hz e 900 Hz), sinais de controle capazes de realizar simples funções como sistema de telemetria, comunicação por voz e iluminação pública (SANTOS, 2008).

Contudo, as grandes empresas de transmissão que utilizavam o PLC na época a caracterizavam como uma grande fonte de interferências e geração de ruídos (TROMPOWSKY, 2005). Assim, os estudos estagnaram-se quanto à tecnologia e sua utilização para transmissão de dados em banda larga.

Até que na década de oitenta, empresas Europeias voltam a realizar pesquisas na área de PLC, desta vez com os estudos voltados a verificar a possibilidade da utilização das linhas de transmissão e distribuição como meios de comunicação em massa. Nestes testes

realizados, identificou-se que entre as frequências de 5 kHz a 500 kHz, foi onde ocorreram as melhores relações sinal/ruído e menores atenuações do sinal (SANTOS, 2008).

Anos depois, em 1988, é criado o primeiro modem PLC, utilizando a técnica de modulação Spread Spectrum ou Espalhamento Espectral. Com isso, foram obtidas taxas de 60 bps em distâncias de até 1 km, porém somente de forma unidirecional (BELETTINI, 2015).

O cenário do PLC volta a sofrer avanços em 1991, na Inglaterra, onde os primeiros testes em redes de baixa tensão começam a ser realizados pela empresa Norweb Communications. Seis anos depois do início dos estudos, duas outras empresas anunciam que resolveram as problemáticas encontradas com a aplicação e firmam parceria para comercializar o PLC, formam a Nor.WEB DPL, iniciando a comercialização da *Digital Power Line* (DPL).

Os avanços continuaram a se propagar pelo mundo. Foi então que aconteceu a criação do *PLC Forum*, criado em 1997 na Europa, e o *Power Line Telecommunications Forum* (PLTF), criado em 1998 nos Estados Unidos.

Focando no ambiente domiciliar, nos anos 2000, a *Homeplug Powerline Alliance* foi formada com o intuito de estabelecer um padrão aberto para a tecnologia PLC domiciliar entre os fornecedores desses produtos. Atualmente esses tipos de produtos, os *Homeplugs PLC*, podem ser encontrados em diversos modelos à venda ao redor do mundo por diversos fabricantes e com diferentes soluções.

2.2 PLC NO BRASIL

A grande vantagem do PLC no Brasil é que a rede elétrica brasileira com sua topologia abrangente atinge 98% da população do país (IBGE, 2011). Porém, a rede brasileira apresenta alguns fatores que podem comprometer o uso da tecnologia. Por exemplo, nossa rede elétrica é sobretudo aérea, fazendo com que equipamentos cheguem a temperaturas muito altas, o que prejudica a qualidade dos serviços. Ainda assim, temos empresas do setor energético que estão com planos pilotos verificando a viabilidade técnica do uso da tecnologia.

A empresa COPEL foi uma das primeiras concessionárias que colocaram em prática experimentos envolvendo PLC no sistema brasileiro. Inicialmente, foram cerca de 50 residências em Curitiba selecionadas criteriosamente para os testes. Na Figura 1 é representada, de forma ilustrativa, a configuração utilizada para interligação da rede elétrica com as residências em teste no projeto realizado pela COPEL. Os equipamentos foram fornecidos por uma empresa Alemã, a RWE Plus, os quais chegaram a atingir taxas de até 2 Mbps (GOMES, 2017). Para pequenas distâncias, cerca de 300 metros, os testes foram muito satisfatórios, chegando a uma velocidade de 1,7 Mbps. Neste projeto foram investidos cerca de um milhão de dólares (GOMES, 2017).

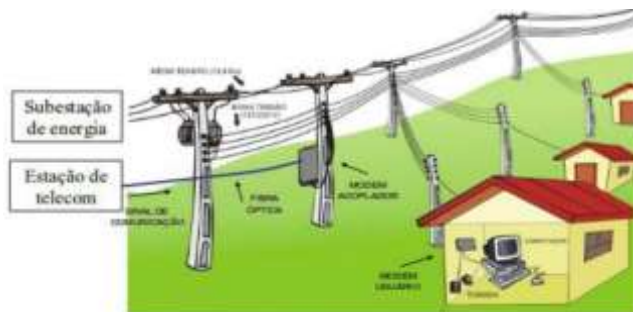


Figura 1 - Configuração geral do Projeto PLC da COPEL
FONTE: GOMES, 2017.

Já o projeto realizado pela CEMIG (Companhia Elétrica de Minas Gerais), no mesmo período que o realizado pela COPEL, obteve os materiais utilizados da empresa sueca ASCOM (BRANDÃO, 2012). Nos experimentos executados pela COPEL, o foco foi o *Last Mille* (última milha), em que o PLC estava sendo utilizado entre os postes e as

residências em observação (TELECO, 2017). Foram cerca de 50 pontos em Belo Horizonte, com canais de acesso compartilhado de 2 Mbps, com um investimento de 200 mil reais (GOMES, 2017).

A empresa ELETROPAULO (Companhia Elétrica da Cidade de São Paulo) em 2002 começou alguns testes da Comunicação por Cabeamento Elétrico em sua rede. Usou o mesmo fornecedor dos equipamentos da CEMIG e procurou atender também os clientes de última milha.

Recentemente, a companhia elétrica do Rio de Janeiro, *LIGHT*, começou um projeto piloto na cidade do Rio de Janeiro, em casas, edifícios e comércios, como descrito em TELECO (2017):

A *Light* fechou parceria com três grandes empresas do setor, sendo elas: ASCOM, MAIN.NET e DS2. Modens para residência e empresas, como por exemplo, os 45 Mbps com os testes realizados com o modem DS2 e 4,5Mbps com o da ASCOM. Nesse projeto foi considerada uma topologia de rede LAN (*Local Area Network*) com elementos concentradores para configuração da rede PLC aos seus assinantes, totalizando 60 acessos de banda larga através do ISP (*Internet Service Provider*).

A figura 2 ilustra a topologia da rede PLC utilizada pela companhia *LIGHT*.

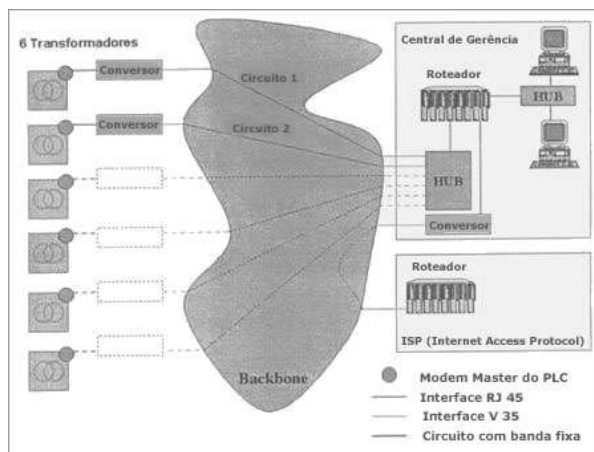


Figura 2 - Projeto experimental da *LIGHT* para rede PLC
 FONTE: TELECO, 2017.

3 COMUNICAÇÃO PELO CABEAMENTO ELÉTRICO

A tecnologia PLC permite a comunicação de dados sobre a rede elétrica – em baixa, média e até nas altas tensões – e possibilita a expansão da capacidade de oferta de aplicações, utilizando meios físicos já existentes: as redes de energia elétrica (AVILA, 2007). Ou seja, permite transformar a rede de distribuição elétrica em uma rede de comunicação pela superposição de um sinal de informação de baixa energia ao sinal de corrente alternada de alta potência (TELECO, 2017).

3.1 SEGMENTOS DA REDE

Classificam-se os segmentos de redes de comunicação usando PLC em três trechos:

- Segmento de média tensão: trecho entre a subestação da companhia de energia elétrica e o transformador de baixa tensão da rede que atende os consumidores finais.
- Última milha: trecho de rede elétrica compreendida entre o transformador de baixa tensão e a residência do consumidor.
- “*Last inch*”: trecho de rede elétrica de baixa tensão localizada nas dependências do consumidor. O “*last inch*” é o foco dos estudos práticos no decorrer deste trabalho.

3.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A implementação do PLC torna-se possível com o avanço das técnicas de modulação e multiplexação. De modo geral e nos experimentos que serão descritos no decorrer do trabalho, os sistemas PLC utilizam como forma de multiplexação a *Frequency Division Multiplex* (FDM), e como modulação a *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM) (SANTOS, 2008).

3.2.1 Faixa de frequência de operação

Como já citado anteriormente, o sistema de energia elétrica compreende-se em uma faixa espectral de 60 Hz como frequência fundamental e geração de harmônicas de 120 Hz a 1200 Hz (CORRÊA, 2004).

A atual regulamentação em estudo pela ETSI/CENELEC indica as seguintes faixas de frequências (ANATEL, 2007):

- a) De 1 MHz a 10/13 MHz para o segmento *Last Mile Access (outdoor)*;
- b) De 10/13 MHz a 30 MHz para o segmento *Last Inch Access (indoor)*.

3.2.2 Modulação e Multiplexação

O processo de modulação do sinal PLC é ilustrado na Figura 3, em que a informação (sinal de alta frequência) é adicionada à frequência da rede elétrica. Os sinais compostos por energia elétrica e dados são transmitidos pelo cabeamento elétrico e devem ser demodulados na recepção por filtros e processadores de sinais, separando as componentes de informação do sinal puro da rede elétrica.

Inúmeras técnicas de modulação podem ser utilizadas na comunicação PLC. O que define qual técnica será escolhida está intrinsicamente associado à qualidade de transmissão do canal, pois algumas delas são mais flexíveis em relação a ruídos, e outras, por apresentarem menos complexidade, possibilitam maior velocidade na transmissão de dados. Sendo assim, os *tradeoffs* apresentados por essas opções exigem uma pesquisa detalhada para escolher a melhor solução para cada cenário.

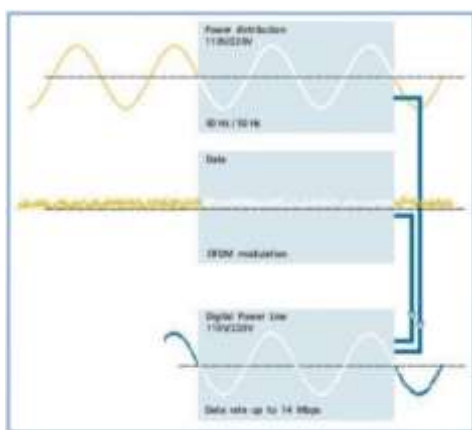


Figura 3 – Sinal de Energia Elétrica e Sinal Modulado
FONTE: TELECO, 2017.

3.2.2.1 Modulação OFDM

A Multiplexação por Divisão Ortogonal de Frequência (OFDM) tem como princípio separar a banda de frequência em subportadoras (Figura 4), as quais farão o transporte de trechos da informação. Nessas sub-bandas, as frequências utilizadas são alocadas de forma ortogonal entre si, e sobrepõem-se para uma melhor eficiência (CARCELLE, 2009).

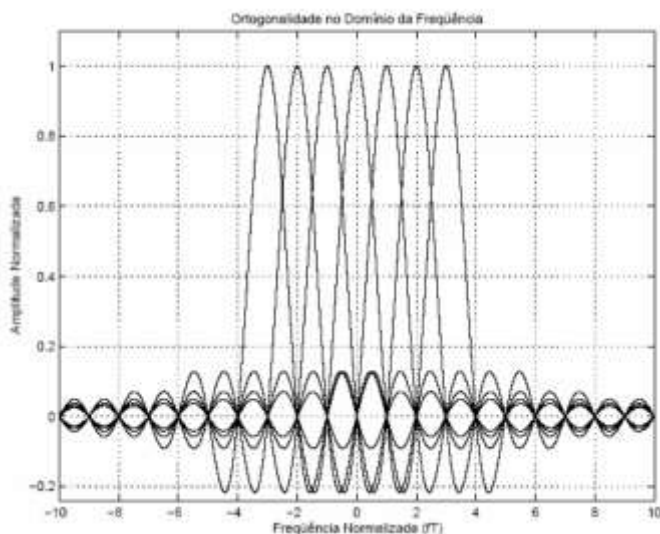


Figura 4 – Ortogonalidade entre diferentes subportadoras
FONTE: DAVID, 2007

De acordo com ANATORY e THEETHAYI (2010):

“O esquema de modulação adotado deve garantir baixas taxas de erro por bit (BER – *Bit Error Rate*) mesmo para condições em que existem sinais com baixa relação sinal ruído (SNR – *Signal-Noise Rate*), deve ocupar uma largura de banda mínima e possibilitar simplicidade e baixo custo na sua implementação. Em um sistema de transmissão de dados, informações como BER e SNR são figuras de mérito para qualificação

de uma transmissão de dados. A taxa de erro por bit representa o número de bits com erro em relação ao número total de bits enviados.”

O conceito da relação sinal-ruído, relação entre a potência do sinal contendo informações e a potência do ruído de fundo, é de grande importância na análise do sistema, já que o canal PLC apresenta propriedades hostis para comunicação, tais como ruídos, multipercursos e comportamentos não lineares (HRASNICA; HAIDINE; LEHNERT, 2004).

Sabendo destes complicadores, o padrão de modulação proposto deve ser capaz de operar com confiabilidade independentemente das condições adversas presentes no meio (FARIAS, 2017). A modulação OFDM oferece escalabilidade de largura de banda e vantagens como a flexibilidade e a capacidade de selecionar subportadoras nas quais as interferências são mínimas (SHAVER; SU; POPA, 2013).

O OFDM é robusto no que diz respeito à comunicação em meios que apresentam condições adversas à troca de dados. (CARCELLE, 2009). Técnicas de modulação multiportadora, em particular a OFDM, têm sido aplicadas com sucesso a uma grande variedade de aplicações digitais ao longo dos últimos anos (BAHAI; SALTZBERG; ERGEN, 2004).

3.2.2.2 *Spread Spectrum*

A modulação de Espalhamento Espectral também é utilizada para modulação de sinais PLC. Ela consiste em estender a informação em uma banda de frequência mais larga do que a banda original, tornando o sinal transmitido menos susceptível aos ruídos e às interferências da rede elétrica. Na Figura 5 podemos observar um simples exemplo que demonstra a lógica da técnica.

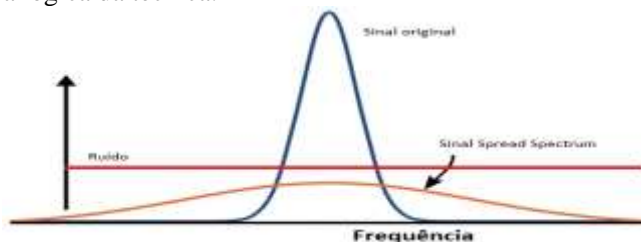


Figura 5 – Exemplo da modulação *Spread Spectrum*
 FONTE: Elaborado pelo autor (2018).

De acordo com ROSS (2010, p.24):

“Nos sistemas convencionais de modulação ocorre uma tentativa de maximizar a concentração de energia para uma dada mensagem. Ou seja, o espectro de frequência do sinal codificado é maior que o espectro de sinal da informação. Por outro lado, como o sistema distribui a energia em uma grande faixa de frequências, a relação sinal/ruído na entrada do receptor é baixa, chegando mesmo, em alguns casos, abaixo no nível de ruído dos receptores convencionais e, portanto, tornando-se insensível para eles. No receptor do sistema de Espalhamento Espectral, o processo recíproco ao espalhamento é realizado, restaurando o nível adequado das mensagens.”

3.2.3 Segurança

Nas redes constituídas pela tecnologia PLC, o quesito segurança gera muitos questionamentos por compartilhar um mesmo meio: a rede elétrica, que pode estar associada a diversos ambientes.

Essa preocupação é procedente, pois a confidencialidade e a integridade são de suma importância quando tratamos de informação. Por exemplo, em um condomínio onde vários apartamentos estejam todos interligados em um mesmo transformador, não queremos que os diferentes usuários acessem os dados um dos outros.

O método empregado para efetuar a proteção do sistema PLC é o algoritmo criptográfico DES (*Data Encryption Standard*).

A criptografia DES é composta por dois estágios: substituição e deslocamento de bits repetidas vezes, seguindo um processo controlado por uma chave de 56 bits para criptografia e 8 bits para conferência de paridade (GOMES, 2017).

A empresa responsável pela criação do algoritmo, na década de setenta, foi a IBM, com o nome de Lúçifer. Somente após a realização de algumas modificações pela NSA (*National Security Agency*), seu nome foi alterado para DES (FERREIRA, 2005).

3.3 MÉTODOS DE TRANSMISSÃO

Visando maiores taxas de dados e as melhorias na confiabilidade de sistemas de telecomunicações, estão sendo cada vez mais usadas técnicas de transmissão e recepção avançadas em sistemas digitais. Uma das técnicas que vêm se destacando é a que usa múltiplas antenas tanto na transmissão quanto na recepção, conhecida como MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). A técnica mais comum ainda é a SISO (*Single Input Single Output*).

3.3.1 SISO

Inicialmente temos a transmissão SISO (*Single Input Single Output*), o qual é o modelo mais intuitivo e normalmente utilizado, em que temos apenas uma antena no transmissor e uma antena no receptor.

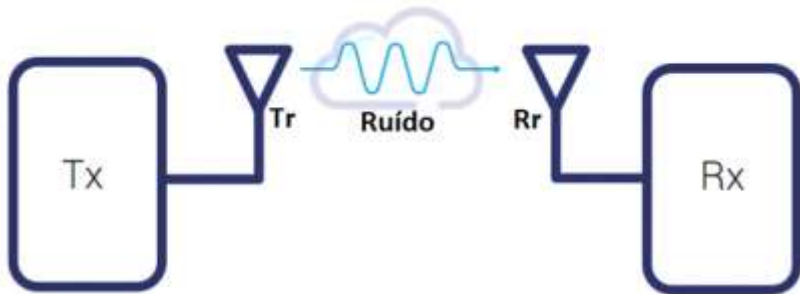


Figura 6 – Transmissão SISO

FONTE: Modificado pelo Autor de GRANDMETRIC, 2018.

No diagrama acima, Tx: Entrada, Rx: Saída, Tr: Antena transmissora, Rr: Antena Receptora. O ruído é introduzido no sistema quando o sinal é processado de Tr para Rr (e o sinal desvanece na região de transmissão), como mostrado no diagrama acima. A capacidade do canal do sistema SISO é dada por:

$$C_{(siso)} = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (3.1)$$

Onde:

C: É a capacidade do canal.

B: Largura de banda do sinal.
 S/N é a relação sinal ruído.

A largura de banda do canal SISO é limitada pela Lei de Shannon, que estabelece a taxa máxima teórica de transmissão em função da largura de banda e da relação sinal-ruído do canal.

3.3.2 MIMO

O termo MIMO (Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas) é dado a todo o sistema que utilize múltiplas antenas na transmissão e recepção. Isso inclui as combinações SIMO (Simple Entrada Múltiplas Saídas) e MISO (Múltiplas Entradas e Simple Saída), as quais podem ser vistas na Figura 7 (SOUZA, 2008).

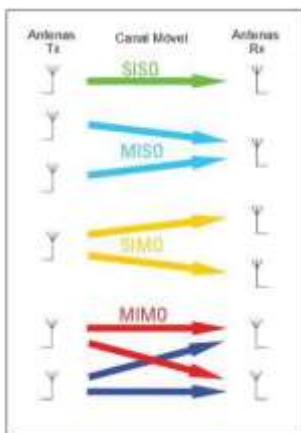


Figura 7 - Técnicas de Múltiplas Antenas
 FONTE: NORONHA 2008.

Os principais objetivos das técnicas MIMO (NORONHA, 2008) são:

- Através da técnica de diversidade, minimizar o efeito de desvanecimento e aumentar a robustez do sinal;
- Aumentar a taxa de dados pela multiplexação espacial, o que eleva a eficiência espectral (em bps/Hz).

Exemplificaremos o sistema MIMO através da Figura 8, em que temos um sistema MIMO 2x2, ou seja, duas antenas transmissoras e duas antenas receptoras. O canal em questão é um canal não seletivo em frequência e com ruído aditivo Gaussiano.

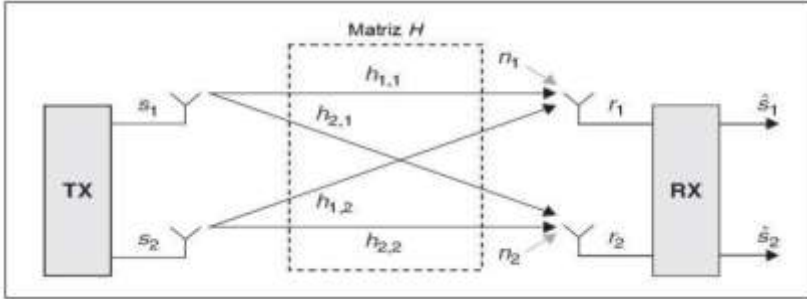


Figura 8 – Sistema MIMO 2x2.

FONTE: MISHRA, 2007.

O transmissor na Figura 8 envia múltiplas mensagens por múltiplas antenas transmissoras, no caso duas. Estas mensagens são enviadas até as antenas dos receptores através de canais, representados por uma matriz de canais, que descrevem múltiplos possíveis caminhos entre as antenas receptoras e transmissoras. Quando a mensagem é recebida, o receptor decodifica a mensagem em um vetor e faz uma estimativa da informação original (MISHRA, 2007). Os sinais recebidos nas antenas receptoras podem ser expressos por (SOUZA, 2009):

$$\bar{r} = \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} \\ h_{2,1} & h_{2,2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} = H \cdot \bar{S} + \bar{n} \quad (3.1)$$

Sendo,

H: Matriz com o ganho complexo dos quatro canais entre transmissor e receptor.

\bar{r} : Vetor contendo os sinais recebidos r_1 e r_2 nas antenas receptoras.

\bar{S} : Vetor dos símbolos S_1 e S_2 transmitidos.

\bar{n} : Vetor contendo os ruídos Gaussianos n_1 e n_2 interferentes no sinal recebido.

3.4 REGULAMENTAÇÃO

A regulamentação e as normas para o desenvolvimento e distribuição do PLC, no Brasil, são responsabilidades da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Em suma, a ANEEL é responsável por fiscalizar a qualidade da energia elétrica e verificar se a exploração do PLC não está afetando a qualidade do fornecimento de energia elétrica para os consumidores. A ANATEL regula e acompanha a qualidade do serviço de transmissão de dados (ANEEL, 2015). No decorrer do ano de 2009, as duas agências emitiram resoluções definindo as regras para a exploração do PLC.

3.4.1 Resolução Nº 527 da ANATEL

A resolução 527/2009 da ANATEL foi publicada em 13 de abril de 2009, no diário oficial da união regulamentando as condições de uso de radiofrequências em sistemas de banda larga por meio de redes de energia elétrica (PILARSKI, 2015). Dentre as principais obrigações, é enfatizado que a comunicação só pode ocorrer na faixa de radiofrequências de 1,705 MHz a 50 MHz, como já foi descrito anteriormente (ANATEL, 2009). Dentre outras determinações, estão descritas na Resolução 527/2009 da ANATEL cinco características técnicas a serem seguidas (a norma técnica na íntegra pode ser conferida no Anexo B):

I - incorporar técnicas de mitigação de interferências que possibilitem reduzir remotamente a potência do sinal e remanejar as frequências em operação em tais sistemas, incluindo filtros ou permitindo o completo bloqueio de radiações indesejadas em frequências ou de faixas de frequências, em conformidade com este Regulamento.

II - para frequências abaixo de 30 MHz, quando da utilização de filtros para evitar interferência em uma faixa de radiofrequências específica, os filtros

devem ser capazes de atenuar as radiações indesejadas dentro desta faixa a um nível de, pelo menos, 20 dB abaixo dos limites especificados neste Regulamento.

III - para frequências acima de 30 MHz, quando da utilização de filtros para evitar interferência em uma faixa de radiofrequências específica, os filtros devem ser capazes de atenuar as radiações indesejadas dentro desta faixa a um nível de, pelo menos, 10 dB abaixo dos limites especificados neste Regulamento.

IV - manter as configurações de mitigação de interferência, mesmo quando houver falta de energia na rede ou quando o equipamento for desligado e religado, de forma consecutiva ou esporádica.

V - dispor de mecanismo que possibilite, remotamente, a partir de uma central de controle, o desligamento da unidade causadora de interferência prejudicial, caso outra técnica de mitigação não alcance o resultado esperado.

3.4.2 Resolução Nº 375 da ANEEL

Em 25 de agosto de 2009 foi publicada uma resolução normativa pela ANEEL. Essa normativa regulamenta a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais (PILARSKI, 2015).

Na norma está descrito que as distribuidoras de energia elétrica têm liberdade para fazer uso privativo da tecnologia PLC nas atividades de distribuição de energia elétrica, ou aplicação em projetos sociais, com fins científicos ou experimentais, observadas as prescrições do contrato de concessão ou permissão e da legislação específica (TELECO, 2010). Dentre outras normas, existe também uma definição dizendo que o prestador de serviço PLC é toda pessoa jurídica detentora de autorização nos termos da regulamentação da ANATEL para exploração comercial de serviço de telecomunicações utilizando a tecnologia PLC. Evidenciando mais uma vez que comercialmente a ANATEL é responsável pelo PLC (PILARSKI, 2015).

3.4.3 Norma IEEE 1901

Em julho de 2009, ocorreu a reunião em que foi aprovado o "projeto de norma IEEE 1901", sendo este o grupo de trabalho do IEEE responsável pelo desenvolvimento do padrão global para comunicações através da rede elétrica de alta velocidade. Em janeiro de 2010, o projeto de norma foi publicado pelo IEEE.

O Projeto de Norma P1901 inclui a camada física baseada na modulação OFDM. A camada física OFDM é derivada de tecnologia *Homeplug*, que é amplamente usada em todo o mundo baseado em produtos *Homeplug* (TELECO, 2010).

Judy Gorman, managing director IEEE Standards Association, afirmou:

"O padrão IEEE 1901 terá um impacto significativo nas tecnologias de comunicações em residências, empresas e indústrias, porque ele torna a transmissão de dados pela rede elétrica tão atraente como as redes sem fio em termos de velocidade, e oferece considerável vantagem por passar entre as paredes e outras estruturas que obstruem o sinal de radiofrequência".

3.5 Vantagens e Desvantagens da Tecnologia

3.5.1 Vantagens

A maior vantagem do PLC é o uso de um meio altamente difundido, presente em quase todas as edificações e estruturas pelo mundo: a rede de energia elétrica. A tecnologia vem como solução para diversos cenários, desde ambientes onde não houve o planejamento de instalação de formas de comunicação, como cabos de par metálico e fibras óticas, até estruturas antigas já tombadas, mas que, no entanto, têm cabeamento elétrico pela edificação.

Sua facilidade de *plug and play* nos *Homeplugs* permite que usuários utilizem a tecnologia sem que seja necessária uma instalação mais complexa, com profissionais especializados ou grandes e caros equipamentos.

Outra vantagem muito importante é a economia em utilizar o mesmo meio para a distribuição de energia e dados, já que a redução de

custos com cabos e infraestrutura para alocar todo o cabeamento, como caixas de passagem e pontos de rede, serão desnecessárias.

Comumente nos deparamos com novos equipamentos, como eletrodomésticos e outras tecnologias, sendo utilizadas agora para automatização residencial, dispositivos que agora constituem a Internet das Coisas (IoT). A utilização do PLC pode facilitar muito a evolução deste conceito, permitindo a utilização destes equipamentos em qualquer tomada elétrica disponível (PILARSKI, 2015).

3.5.2 Desvantagens

O sistema PLC apresenta deficiências e algumas dessas são um grande desafio para a difusão e a utilização da tecnologia, já que podem até comprometer a comunicação por alguns instantes.

A maior dificuldade da tecnologia é a interferência, tanto causada como gerada. São inseridos ruídos por aparelhos eletroeletrônicos na linha de energia elétrica, que é o canal de transmissão.

Redes elétricas em edificações podem ser constituídas de redes monofásicas, bifásicas, trifásicas ou até polifásicas, tornando isso um problema grave para o funcionamento regular em qualquer ponto de energia do local. Isto se dá devido à transmissão acontecer em apenas uma das fases da rede elétrica, exigindo que se tenha conhecimento prévio de quais pontos de energia estarão utilizando a mesma fase, para que a comunicação entre os dois *Homeplugs* aconteça.

Outro fator importante é a qualidade do cabeamento da rede elétrica em que é feito o link físico dos *Homeplugs*, o que é um tanto difícil de termos uma garantia sobre a qualidade desse meio de transmissão. Instalações elétricas com emendas de má qualidade e instalações fora da norma degradam consideravelmente a comunicação (PILARSKI, 2015).

4 Homeplugs PLC

Um conjunto de empresas que projetam e constroem equipamentos ao redor do mundo juntas fundaram a *Homeplug Powerline Alliance*, um consórcio que vem formalizando padronizações nos últimos anos com o propósito de popularizar a tecnologia desde os anos 2000, com o padrão *Homeplug 1.0*, até os dias atuais, na versão AV2.

4.1 Homeplug 1.0

Com a finalidade de proporcionar a comunicação *indoor* entre dispositivos através do cabeamento da rede elétrica, o padrão *Homeplug 1.0* foi o primeiro padrão criado pela *Homeplug Powerline Alliance* (LEE, 2003). Utiliza a modulação OFDM, já descrita anteriormente, constituída neste padrão por 84 subportadoras, todas espaçadas igualmente entre uma faixa espectral que varia de 4,5 MHz a 21 MHz (PARENTE, 2011). Ou seja, cada símbolo da mensagem ocupa uma única portadora por vez. Esse padrão é capaz de fornecer uma taxa de transmissão de dados de 14 Mbps.

O padrão *Homeplug 1.0* possui dois tipos de quadros um longo e outro curto. O longo é utilizado para a transmissão de dados, e o mais curto é para procedimento ARQ de correção de erros.

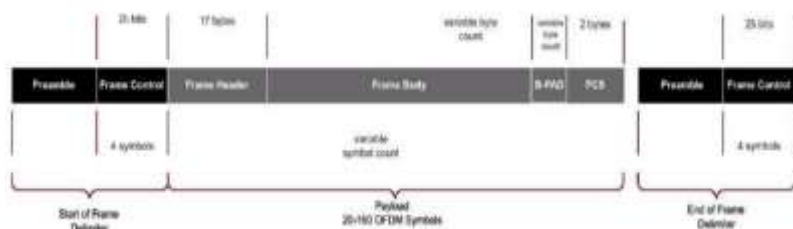


Figura 9 – Formato de Quadro Longo
 FONTE: *Homeplug Powerline Alliance*

É composto de três partes: o delimitador inicial, o corpo da mensagem (*payload*) e o delimitador final.

Os delimitadores, inicial e final, ambos com a mesma configuração, são compostos por um preâmbulo e um campo chamado *frame control* (PARENTE, 2011). Para determinarmos a disponibilidade do meio utilizamos os delimitadores, o trecho chamado de preâmbulo é na verdade um sinal *Spread Spectrum*, que serve apenas para identificar o início do delimitador. Na tabela abaixo, temos uma série de funcionalidades presentes internamente ao campo *frame control*:

Quadro 1 – Campo *frame control* e suas funções

Tipo	Campo	Função
Resposta	Tipo	Pode ser ACK, NACK ou FAIL.
	Prioridade de Acesso do Canal	Prioridade de precedência de quadro longo.
Início	Tipo	Informa se é necessária uma resposta de confirmação após o envio do delimitador.
	Controle de Contenção	Quando possuir valor 1, não permite outros nodos <i>Homeplugs</i> com prioridade igual ou inferior ao quadro atual acessem o meio.
	Tamanho do frame	Tamanho do <i>payload</i> em símbolos OFDM.
	Tone Map Index	Índice enviado ao receptor contendo informações sobre a adaptação do canal.
Fim	Tipo	Indica se após o envio do delimitador espera-se uma resposta de confirmação.
	Controle de Contenção	Redundante ao delimitador de início de quadro, aumentando a sincronia.
	Prioridade de Acesso do Canal	Prioridade de precedência do atual quadro longo.

FONTE: HANIPH (2013).

Um cabeçalho de 17 bytes indica o início do corpo da mensagem. No cabeçalho, estão contidas informações como endereço do emissor, do receptor e informações de segmentação (PARENTE, 2011). O campo do corpo da mensagem varia de 20 a, no máximo, 160 símbolos OFDM. Existe também o campo FCS (*frame check sequency*), que detecta erros na transmissão.

O padrão 1.0 faz uso de uma variação do protocolo CSMA/CA de acesso múltiplo ao meio verificando a presença de portadoras. Funciona

com o nodo utilizando uma combinação de sensores de portadora física (*Physical Carrier Sense*), PCS, e sensor de portadora virtual (*Virtual Carrier Sense*), VCS (PARENTE, 2011). Com essa combinação, ele identifica o estado do meio, e por quanto tempo estará ocupado. O canal PCS observa a presença de preâmbulos no meio de transmissão, e o VCS recolhe informações do campo *frame control*, como o tempo de duração do quadro presente no meio e o seu grau de prioridade (LEE, 2003).

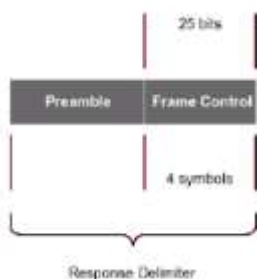


Figura 10 – Formato do Quadro Curto
FONTE: LEE, 2003.

Existem quatro tipos de prioridade no *Homeplug 1.0*, em que o nível mais alto é atribuído para a transmissão de voz, com atrasos de no máximo 10 milissegundos, e o nível mais baixo, para transmissão de melhor esforço. São empregados os algoritmos de Viterbi e Reed-Salomon como codificação de canal, para suavizar as interferências vindas de um meio tão ruidoso como a rede elétrica (HANIPH, 2013).

4.2 *Homeplug AV*

O objetivo da criação do padrão *Homeplug AV* é de aumentar a eficiência e as taxas de transmissão que puderam ser alcançadas no padrão *Homeplug 1.0*. Isso se torna capaz com as melhorias nas tecnologias existentes, o que permitiu alcançar taxas de até 200 Mbps e torná-las compatíveis com o padrão anterior.

Também fazendo uso da tecnologia OFDM, como o padrão anterior, ambos fazem parte da camada 2 do modelo OSI, o *Homeplug AV* aplica 1155 subportadoras, espaçadas de 24414 kHz, das quais 917 são para tráfego de dados (HANIPH, 2013). Cada uma das

subportadoras utiliza separadamente as modulações BPSK, QPSK e (16 até 1024) QAM todas operando em conjunto (tecnologia *adaptive bit loading*), que levam em conta as características do canal para selecionar a modulação.

Sabendo que existem distorções causadas pelo multipercurso no canal, o padrão AV emprega a tecnologia *adaptive bit loading* e o mapa tonal (*map tone*). Com o *adaptive bit loading*, podemos modular cada portadora separadamente, fazendo com que faixas de frequências menos degradadas pela distorção de multipercurso utilizem modulações com que permitam maiores velocidades, como o 1024 QAM. E pelo lado oposto, frequências que são mais afetadas utilizam modulações que não são tão sensíveis ao erro, como a BPSK (GALDINO, 2008).

Para que o transmissor saiba qual o tipo de modulação deve ser transmitida, é utilizada a técnica chamada de *map tone*. Os mapas tonais, em português, indicam a potência do sinal no receptor para cada faixa de frequência. Feito isto, é enviado o mapa para que o transmissor module as subportadoras de acordo com os níveis; cada estação possui um mapa tonal para outra estação na mesma rede.



Figura 11 – Exemplo de Mapa Tonal Discretizado

FONTE: Homeplug Powerline Alliance

Na transmissão do sinal pelo padrão *Homeplug AV*, são considerados que podem existir dados de três tipos de fonte, sendo elas: frame control do padrão *Homeplug 1.0*; frame control do padrão *Homeplug AV*; e outro para os dados (ALLIANCE, 2011). O processo inicia-se com a realização da codificação do canal. Após esta etapa, acontece a concatenação do canal, aonde os dados vindos das três fontes apresentadas anteriormente acoplam-se. Então acontece a modulação da mensagem com a técnica OFDM, e então são atribuídos ao sinal os preâmbulos e insere-se o sinal na rede elétrica através do *Analog Feed End* (AFE) (PARENTE, 2011). Abaixo, na Figura 12, temos o diagrama de blocos com o fluxo descrito.

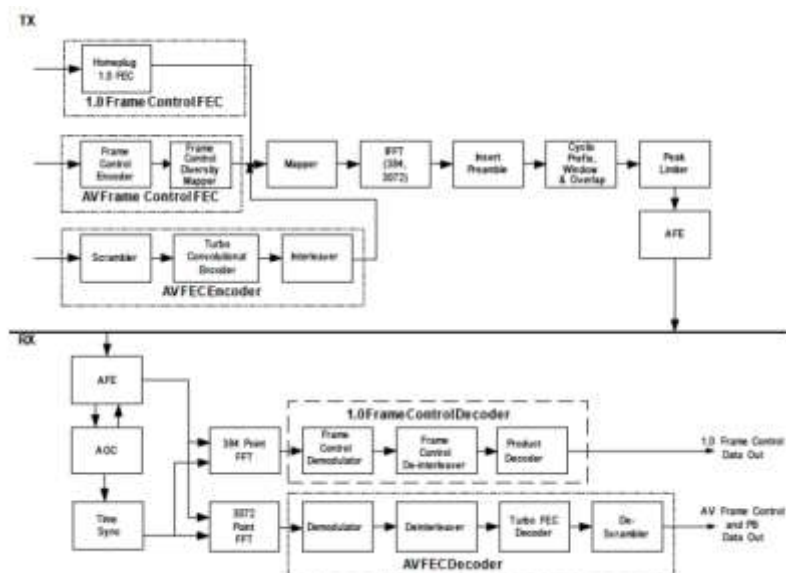


Figura 12 – Diagrama da comunicação *Homeplug AV*
 FONTE: *Homeplug Power Line Alliance*

No padrão Homeplug AV, é inserido um novo conceito, o *Central Coordinator* (CCo). Um CCo é responsável por controlar uma rede lógica AV (AVLN), que é formada por várias estações AV. Todas estas estações compartilham da mesma chave de membros da rede (NMK). É isso que define quais membros podem se comunicar entre si, fechando o canal de comunicação PLC (PARENTE, 2011). Todo o controle de acesso, alocação e prioridade é realizado pelo CCo, que pode trabalhar tanto com TDMA, alocando slots no tempo, quanto com o escalonamento de tempo com o CSMA (TELECO, 2017).

4.3 Homeplug AV2

O novo padrão *Homeplug AV2* faz uso de um espectro de frequência adicional de 30 a 86 MHz, ultrapassando a faixa utilizada no padrão AV, o que aumenta significativamente as taxas de dados do padrão *Homeplug AV2* para aplicações como múltiplos *streams HD* e demais aplicações em alta definição em tempo real (HOMEPLUG POWERLINE ALLIANCE, 2012).

Com o novo padrão, veio a incorporação da utilização da técnica *Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)*, a qual foi possível com o uso do método *beamforming*, que oferece o benefício de otimizar a cobertura por toda a edificação. Ele transmite em até três configurações de pares de cabos: fase-neutro, fase-terra, e neutro-terra. Assim cada dispositivo pode usar dois transmissores diferentes e até quatro receptores, todos independentes (MATHIAS, 2013). Quando a residência não tiver em sua instalação o condutor de terra, o dispositivo *Homeplug AV2* funciona no modo SISO.

Alguns outros recursos adicionais do padrão são: a repetição do sinal em pares de cabos com melhor característica de SNR, o aumento da modulação máxima para 4096-QAM, menores intervalos de guarda entre as subportadoras e a utilização de modos de economia de energia.

Uma comparação dos sistemas com *Homeplugs* pode ser vista na Tabela 1. O conceito de eficiência espectral é dado em (HAYKIN, 2001), e é expresso pela razão entre a taxa de transmissão de bits R_b e a largura de banda BW .

Tabela 1 – Comparativo entre os padrões de *Homeplugs PLC*

Tecnologia	R_b Mbps máximo	Faixa(s) MHz	BW MHz	ES bps/Hz
Homeplug 1.0	14	4,49-20,7	16,21	0,864
Homeplug AV	150	2-28	26	5,769
Homeplug AV2	1000	2-28; 30-86	82	12,195

FONTE: MATHIAS, 2013.

5 Ensaios com *Homeplug Modelo*

Nesta seção, utilizaremos um *Homeplug modelo* para analisarmos sua funcionalidade, velocidade, confiabilidade, e aplicações em cenários práticos de comunicação IP, concluindo se sua aplicabilidade é viável.

As análises serão feitas utilizando softwares livres, ou seja, um programa de computador que pode ser copiado, modificado e redistribuído pelos usuários gratuitamente.

Os experimentos que farão parte da análise foram realizados em três locais: uma residência recém-construída (dois anos), monofásica, e com cabeamento elétrico em ótimo estado; um apartamento com aproximadamente dez anos, com quatro andares e cabeamento elétrico regular; e uma empresa de médio porte com 300 funcionários, durante o expediente, com rede elétrica trifásica em ótimo estado. Os experimentos serão vistos a seguir.

5.1 Especificações do *Homeplugs Modelo*

Usaremos nas análises que serão feitas no decorrer deste trabalho um par de *Homeplugs*, que chamaremos de *Homeplugs Modelo*. O dispositivo é da marca chinesa GigaFast, que opera no padrão *Homeplug AV*. O modelo é chamado de PN928-EB1 e comercialmente como *Homeplug AV 200Mbps Ethernet Bridge* (ver Figura 13). Na Tabela 2, podemos ver todas as especificações do equipamento que será utilizado.



Figura 13 - *Homeplug AV 200Mbps Ethernet Bridge*
 FONTE: GIGAFAST, 2014.

Tabela 2 – Especificações do Homeplug AV 200Mbps Ethernet Bridge

Especificações	Descrição
Chipset	Qualcomm 6410
Interface de Rede	IEEE802.3 (10BASE-T) IEEE802.3u(100BASE-T)
Padrões nas Interfaces de Rede	IEEE1901/ <i>Homeplug AV</i> 1 x RJ-45 (10/100Base-T Ethernet) Suportando 200 Mbps, mas coexistindo com o padrão <i>Homeplug 1.0</i> (14/85 Mbps)
Segurança	128-bit AES encriptação com gerenciamento de chaves
Modulação	OFDM 1024/256/64/16/8 – QAM. QPSK. BPSK
Banda de Frequência	2~28 MHz
Alcance	Aproximadamente 300 metros em cabeamento elétrico pelas paredes
Cabos	CAT 5 UDP
LEDs de estados	Alimentação: on/off PLC link: vermelho/laranja/verde/desligado Ethernet link: fixo/piscando/desligado.

FONTE: GIGAFAST, 2014.

5.1.1 Teste de Largura de Banda

A largura de banda é definida pela capacidade do meio em transmitir dados ao longo do tempo, medida em bits por segundo (bps) (LEMONS, 2011). Em nossos testes, utilizaremos o *software* livre *Iperf*, um software desenvolvido pela Universidade de Illinois em linha de comando, que pode ser utilizado para análise de desempenho de banda e perdas de pacotes (TELECO, 2010). Permite realizar a injeção de pacotes (tanto TCP quanto UDP) para medir o desempenho da rede, que em nosso caso será o enlace entre os *Homeplugs Modelo*.

O software funciona em pares: assim como os *Homeplugs*, é necessário ter um *Iperf* servidor e outro cliente, em que o servidor

enviará pacotes (UDP ou TCP dependendo do cenário desejado) para o cliente, e o cliente retornará a informação. Assim, calcula-se a largura de banda.

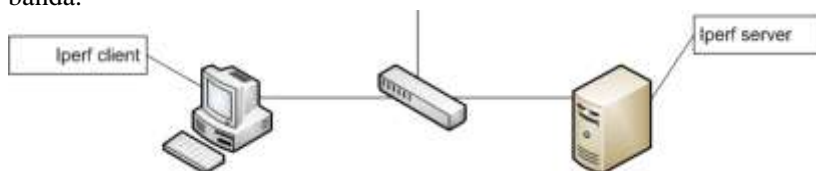


Figura 14 – Cenário básico com software *Iperf*
 FONTE: LEMOS, 2011.

Os testes foram separados em dois grandes grupos, um utilizando TCP e outro UDP. As larguras de banda obtidas nos testes a uma distância de 25 metros entre os *homeplugs*, no cenário 1, podem ser conferidas a seguir nas Figuras 15 e 16. Os demais valores nos diferentes cenários à diferentes distâncias serão comentadas no capítulo 5.2.

5.1.1.1 TCP

O TCP (*Transmission Control Protocol*) é um protocolo pertencente à camada de transporte do Modelo OSI. Suas características principais são: ser orientado à conexão, *handshake* e uma comunicação ponto-a-ponto (BEZERRA, 2008).

Em nosso teste, utilizaremos o protocolo TCP, em um primeiro momento, coletando seus dados. E após isto faremos o mesmo com o protocolo UDP.

Os dados obtidos no experimento envolvendo o protocolo TCP podem ser conferidos na Figura 15.

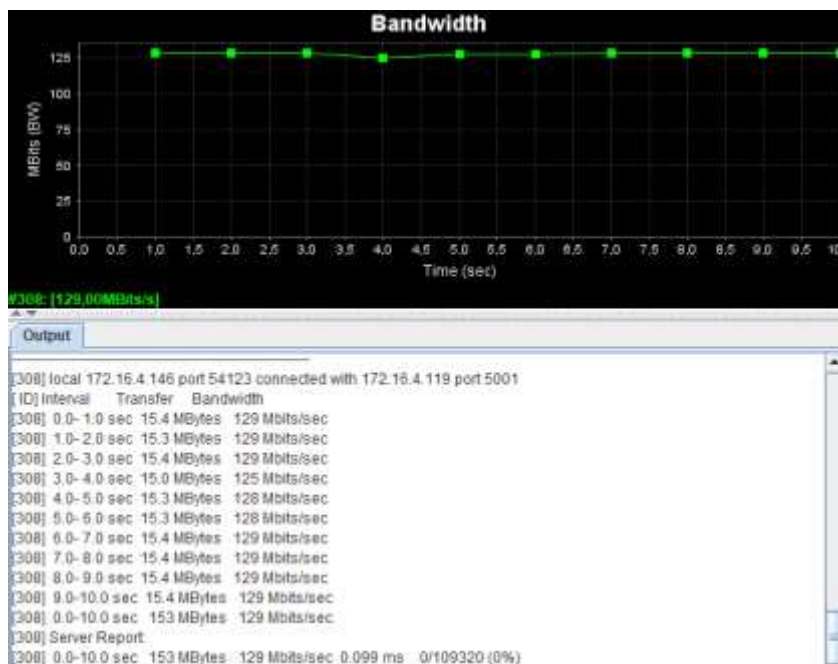


Figura 15 – Largura de Banda TCP analisada no *Homeplug*

FONTE: Elaborado pelo autor (2018)

5.1.1.2 UDP

O UDP (*User Datagram Protocol*) é o substituto utilizado por algumas aplicações para o transporte rápido de dados entre *hosts*. O protocolo UDP fornece alguns serviços de endereçamento, porém não oferece confiabilidade, pois entrega com base no melhor esforço, não garantindo a entrega nem o sequenciamento dos pacotes (BEZZERA, 2008).

Na Figura 16, podemos conferir a largura de banda do enlace com os *Homeplugs* quando utilizado o protocolo UDP. Nesse teste, como utilizamos o protocolo UDP, obtemos também o *jitter*. As discussões sobre os resultados dos testes serão feitas posteriormente.

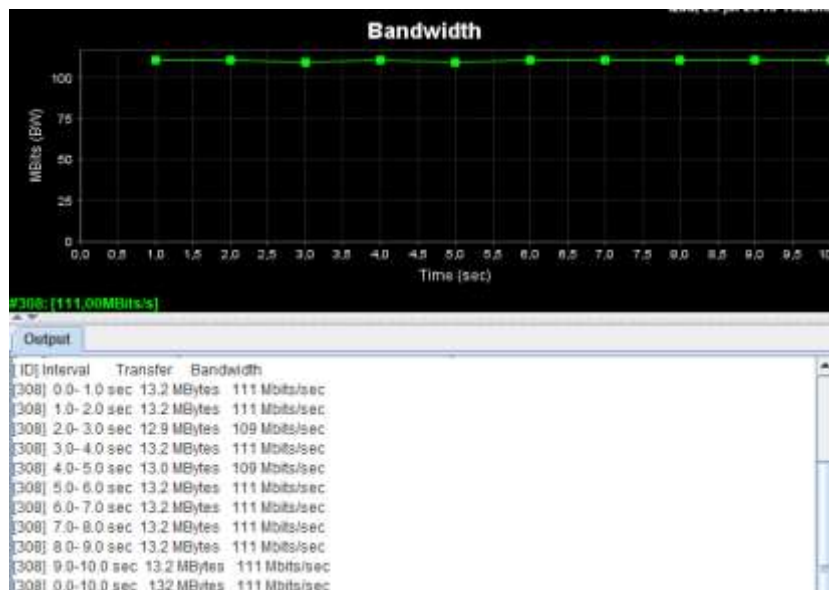
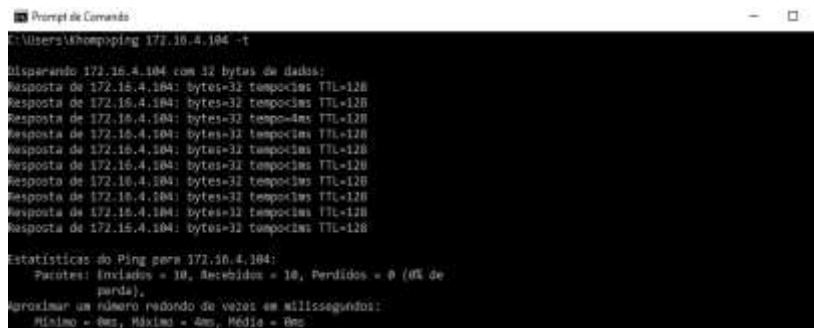


Figura 16 - Largura de Banda UDP analisada no *Homeplug*

FONTE: Elaborado pelo autor (2018)

5.1.2 Teste de Perda de Pacotes

Simultaneamente ao teste de Largura de Banda, realizamos o teste de perda de pacotes. Ele consistiu em usarmos o comando “*ping*” no *prompt* de comando da máquina presente no enlace de teste, durante todo o experimento anterior de largura de banda. Os resultados podem ser conferidos nas figuras a seguir. Em resumo, não houve perdas de pacotes durante os testes de largura de banda, salvo os casos que serão discutidos no capítulo 5.1.4 desse trabalho.



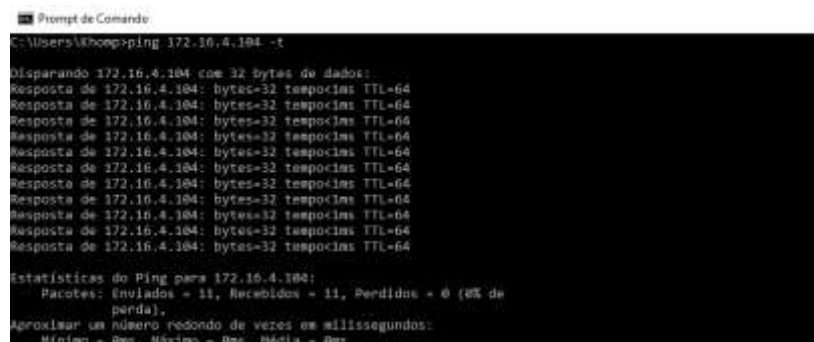
```

C:\Users\Khomp>ping 172.16.4.104 -t

Disparando 172.16.4.104 com 32 bytes de dados:
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=128 TTL=128
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=128 TTL=128
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=128 TTL=128
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=128 TTL=128
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=128 TTL=128
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=128 TTL=128
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=128 TTL=128
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=128 TTL=128
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=128 TTL=128
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=128 TTL=128

Estatísticas do Ping para 172.16.4.104:
    Pacotes: Enviados = 10, Recebidos = 10, Perdidos = 0 (0% de
    perda).
    Aproximar um número redondo de vezes em milissegundos:
    Mínimo = Res, Máximo = Res, Média = Res
  
```

Figura 17 – Teste de Perda de Pacotes cenário TCP
 FONTE: Elaborado pelo autor (2018)



```

C:\Users\Khomp>ping 172.16.4.104 -t

Disparando 172.16.4.104 com 32 bytes de dados:
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=64 TTL=64
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=64 TTL=64
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=64 TTL=64
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=64 TTL=64
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=64 TTL=64
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=64 TTL=64
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=64 TTL=64
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=64 TTL=64
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=64 TTL=64
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=64 TTL=64
Resposta de 172.16.4.104: bytes=32 tempos=64 TTL=64

Estatísticas do Ping para 172.16.4.104:
    Pacotes: Enviados = 11, Recebidos = 11, Perdidos = 0 (0% de
    perda).
    Aproximar um número redondo de vezes em milissegundos:
    Mínimo = Res, Máximo = Res, Média = Res
  
```

Figura 18 - Teste de Perda de Pacotes cenário UDP
 FONTE: Elaborado pelo autor (2018)

5.1.3 Teste com ligação VoIP

O *VoIP* (*Voice over Internet Protocol*) é uma tecnologia que permite a transmissão de voz por *IP*, permitindo chamadas de áudio pela rede (SANTOS, 2008). Para ilustrar com exemplos, chamadas realizadas com *WhatsApp*, *SIP* e *Skype*, são todas via VoIP.

Foi utilizado o software livre *Wireshark*, que serve para monitorar os pacotes de informações que trafegam através de sua rede, e um analisador de protocolos para redes de computadores (FERRARI, 2008). Em nosso trabalho, utilizaremos o *software* para acompanhar a chamada *VoIP* entre os terminais (telefones) plugados nos *Homeplugs Modelo*, que realizarão uma chamada ponto-a-ponto.

Os telefones utilizados no cenário, como citado anteriormente, são modelos UNIVOIS U6S (Figura 19), que serão vendido futuramente pela empresa Khomp, mas que foram emprestados para os testes desse trabalho.

Os dois computadores utilizados neste teste possuem placas de rede 10/100 Mbps, ambos com sistema operacional Windows 10, compatíveis com o *Homeplug modelo*.

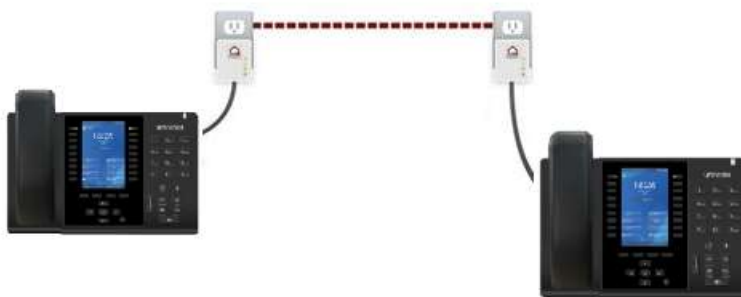


Figura 19 – Cenário do Experimento *VoIP*

FONTE: Elaborado pelo autor (2018).

Atribuiremos IP estático para ambos os Telefones IP (UNIVOIS U6S), já que faremos uma chamada *VoIP* ponto-a-ponto. O IP estático escolhido será utilizado como número de identificação do telefone, e esse será discado para que a chamada seja estabelecida.

Durante os testes, foram utilizados dois pontos de tomadas distanciados de aproximadamente 25 m de fios pelas paredes. Os testes aconteceram em diferentes horários do dia, e uma das chamadas realizadas pode ser conferida a seguir.

Na Figura 20, podemos ver o fluxo da ligação simulada em que a origem veio do Telefone A (com o IP 192.168.0.5) para o Telefone B (com o IP 192.168.0.6). Os dados foram obtidos utilizando o software *Wireshark*.

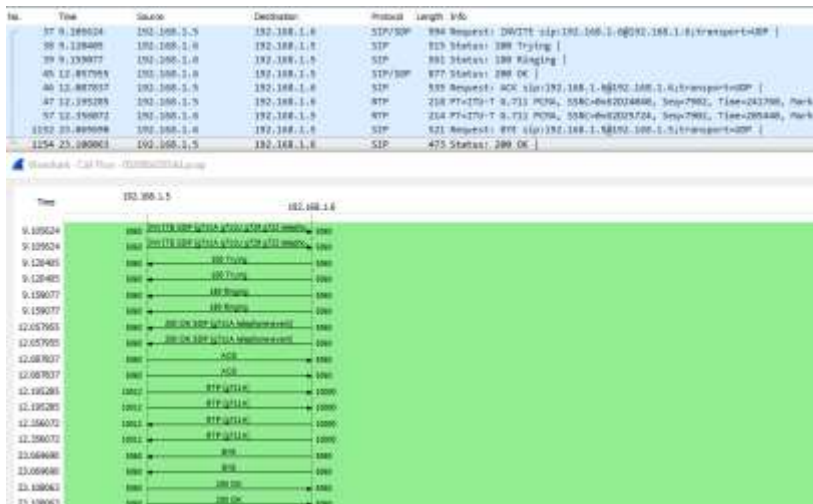


Figura 20 – Captura Wireshark chamada VoIP PLC.
FONTE: Elaborado pelo autor (2018).

Já na figura 21, vemos os resultados de um dos testes de conectividade realizado simultaneamente à chamada descrita anteriormente.

```

C:\Users\Kthomp>ping 192.168.0.6 -t

Disparando 192.168.0.6 com 32 bytes de dados:
Resposta de 192.168.0.6: bytes=32 tempo=5ms TTL=64
Resposta de 192.168.0.6: bytes=32 tempo=6ms TTL=64
Resposta de 192.168.0.6: bytes=32 tempo=10ms TTL=64
Resposta de 192.168.0.6: bytes=32 tempo=6ms TTL=64
Resposta de 192.168.0.6: bytes=32 tempo=10ms TTL=64
Resposta de 192.168.0.6: bytes=32 tempo=6ms TTL=64
Resposta de 192.168.0.6: bytes=32 tempo=6ms TTL=64
Resposta de 192.168.0.6: bytes=32 tempo=8ms TTL=64
Resposta de 192.168.0.6: bytes=32 tempo=6ms TTL=64
Resposta de 192.168.0.6: bytes=32 tempo=6ms TTL=64

Estatísticas do Ping para 192.168.0.6:
    Pacotes: Enviados = 10, Recebidos = 10, Perdidos = 0 (0% de
    perda),
Aproximar um número redondo de vezes em milissegundos:
    Mínimo = 5ms, Máximo = 10ms, Média = 6ms
  
```

Figura 21 – Teste de perda de pacotes
FONTE: Elaborado pelo autor (2018).

Concluímos então que de fato é possível realizar uma ligação de voz entre dispositivos IP em alta qualidade utilizando a tecnologia PLC. Durante toda a comunicação, não houve perdas de pacotes, nem desconexões em nenhum horário do dia.

5.1.4 Interferências Detectadas

Durante os testes realizados, fatores externos ao enlace dos *Homeplugs* foram detectados. Isso ocorreu devido ao PLC ser uma tecnologia interferente a demais serviços e utilizadores de radiofrequência.

A banda utilizada pelo PLC engloba: as ondas médias (de 1.7 MHz a 3 MHz) as altas frequências (HF, de 3 a 30 MHz) e parte do VHF (de 30 MHz a 50 MHz) (MEDINA, 2014). Por esse motivo, todos os serviços utilizadores dessas faixas podem interferir ou serem interferidos pela comunicação.

Em nosso primeiro cenário, em que tínhamos uma residência recém-construída, equipamentos com motores como liquidificador, máquina de barbear e aspirador de pó, causaram interferências durante os testes. Isso pode ser observado porque o *Homeplug modelo* utilizado exibe a qualidade da conexão entre os *homeplugs* com um LED indicador: verde, ótima conexão; laranja, conexão fraca; apagado, perda de conexão. E durante os experimentos neste primeiro cenário, com estes dispositivos conectados, houve a alternância do LED indicador de verde para laranja, contudo não aconteceu a perda de comunicação.

No segundo cenário, os problemas relacionados à interferência foram mais graves. A diferença pode ser observada com a variação do horário ao decorrer do dia. Quando nos aproximávamos dos horários de pico de consumo nos apartamentos, a qualidade do sinal era rebaixada para o LED laranja, indicando um link com baixa qualidade. Desta forma, realizando os testes com os mesmos equipamentos utilizados no primeiro cenário, o barbeador e o liquidificador provocaram queda na conexão, devido ao alto nível de ruído no enlace, já o aspirador não provocou a queda da comunicação, porém tornou-a pior.

No cenário empresarial, não foi possível utilizar os mesmos equipamentos, mas foi mantido sob análise contínua um par PLC em funcionamento durante 8 horas, e não houve variação nem queda na comunicação.

Vale lembrar que a comunicação PLC é prejudicada em redes que contenham algum elemento bloqueador de frequência, como filtros de

linha, ou equipamentos isoladores, como estabilizadores, ou alimentados por fontes chaveadas ou qualquer outro equipamento que apresente transformadores.

5.2 Conclusão dos testes de largura de banda

Através dos ensaios realizados nos três cenários utilizados nesse trabalho, foi possível verificar que a tecnologia PLC *indoor* é algo que pode ser utilizado como uma solução muito interessante em diversos cenários residenciais e empresariais.

Contudo, para sua utilização adequada, deve-se atentar nos focos geradores de ruídos, como os observados ao decorrer dos experimentos descritos nesse trabalho, e eliminar todos os transformadores e filtros de linha presentes entre o enlace de *homeplugs* desejado.

A susceptibilidade ao ruído do *homeplug modelo* utilizado pode ser atenuada caso o substituíssemos por outros que utilizem o padrão AV2. Tal padrão, que é o dos modelos novos no comércio, apresenta maior imunidade a interferências e uma maior velocidade de transmissão, como explicado nos capítulos anteriores desse trabalho.

Quanto ao teste de largura de banda, foram realizados em três cenários, com três distâncias diferentes: 10, 25 e 50 metros. Nas Figuras a seguir, podemos verificar o desempenho TCP e UDP de cada cenário, variando a distância do enlace entre os *homeplugs modelo*.



Figura 22 – Teste de largura de banda Cenário 1

FONTE: Elaborado pelo autor (2018).



Figura 23 – Teste de largura de banda Cenário 2
 FONTE: Elaborado pelo autor (2018).



Figura 24 – Teste de largura de banda Cenário 3
 FONTE: Elaborado pelo autor (2018).

Vemos que a qualidade do cabeamento elétrico interfere muito na largura de banda do enlace. A instalação elétrica mais antiga e degradada (cenário número 2) apresenta os menores valores, sendo 98 Mbps no modo UDP e 60 Mbps quando em TCP. Já em ambos os cabeamentos dos cenários 1 e 3, temos valores muito próximos à largura de banda máxima dos *homeplugs*, com destaque para o cenário 3, que apresentou os maiores valores: 181 Mbps, em UDP, e 173 Mbps, em TCP.

Como explicado anteriormente, a taxa de transmissão quando utilizado o protocolo UDP é maior que à TCP, confirmando a teoria, que torna o TCP mais lento por ser orientado à conexão e exigir maior confiabilidade.

Para complementar o teste, foram feitos dois gráficos comparativos: um entre os cenários em TCP, outro entre os cenários UDP, os quais podem ser visualizados nas Figuras 25 e 26.

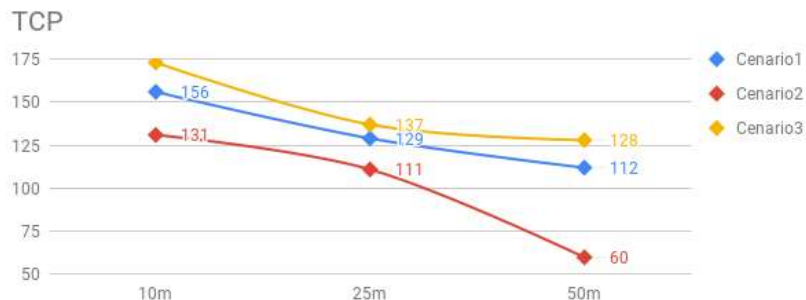


Figura 25 – Comparativo Cenários em TCP
 FONTE: Elaborado pelo autor (2018).

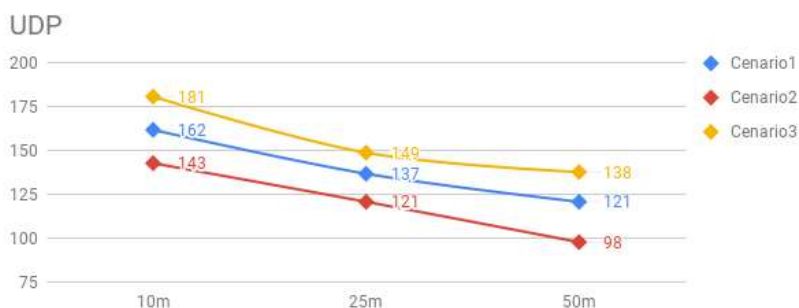


Figura 26 – Comparativo Cenários em UDP
 FONTE: Elaborado pelo autor (2018).

Podemos concluir dos gráficos comparativos que a influência da distância é de fato atenuadora da taxa máxima de transmissão, porém as características da linha têm uma influência muito maior, como pode ser observado claramente na Figura 26, em que os gráficos perdem o padrão em relação aos demais cenários, pois se trata de um cenário com uma instalação elétrica mais antiga e degradada.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo teve como objetivo verificar o funcionamento de um par de *homeplugs* PLC, detalhando seu desempenho e comportamento frente a diferentes cenários em ambientes variados.

Ao se realizar os testes, foi possível concluir, que o PLC *indoor* é um potencial concorrente de diversas outras soluções, como roteadores *wireless*, extensores *wireless* e cabos de par trançados, em que suas vantagens e desvantagens foram citadas e puderam ser analisadas, cabendo ao consumidor escolher entre as soluções, encaixando a melhor delas a seu cenário.

Nos estudos apresentados, pode-se observar o estado da tecnologia no Brasil e no restante do mundo em relação ao tema. Detalhou-se a regulamentação vigente da ANEEL e ANATEL a respeito do assunto, assim como a norma IEEE 1901.

Uma importante parte do trabalho foi o embasamento teórico do PLC, em que descrevemos seu princípio de funcionamento, os sistemas de modulação e multiplexação utilizados, dando ênfase no OFDM. Foi discorrido também sobre as técnicas de segurança e as formas de transmissão, detalhando os métodos SISO e MIMO.

Já em um contexto mais voltado aos testes que foram realizados, mostramos os diferentes padrões atribuídos pela *Homeplug Powerline Alliance*, destacando os avanços e as diferenças ocorridos nos *homeplugs*, desde o padrão 1.0 até o AV2.

Os *homeplugs* modelo utilizado nos testes pertencem ao padrão AV. Logo, como descrito ao longo do trabalho, sua taxa máxima de transmissão é de 200 Mbps. Tendo isso em mente, foram propostos três cenários diferentes nos testes para analisarmos os diferentes comportamentos da tecnologia em ambientes diversos. Concluímos que existe uma grande degradação do sinal quando há ruídos gerados por motores universais na mesma instalação elétrica. Observamos também uma queda aproximadamente linear da largura de banda em relação à distância, ou seja, quanto maior a distância entre os *homeplugs* PLC, menor a taxa de transmissão, tanto utilizando protocolo UDP quanto TCP.

Nos testes feitos com a tecnologia VoIP sobre o PLC, conseguiu-se uma comunicação excelente pelo enlace de *homeplugs*, mostrando ser uma solução muito interessante e aplicável em vários locais, como condomínios, empresas e até em residências.

O trabalho tornou evidente como a tecnologia PLC pode ser de grande aplicabilidade em vários ambientes distintos. Claro que a interferência existente no enlace sofrida por outros dispositivos na rede é uma situação para se tomar cuidado, contudo se for investido um pouco mais, caso a situação exija isso, um *homeplug* padrão AV2 poderia ser mais resistente aos fatores externos do enlace, tornando esta uma solução mais confiável.

Para trabalhos futuros, seria de suma importância replicar os cenários deste trabalho e comparar quão mais robusto poderia ser o enlace utilizando o padrão *homeplug* AV2.

REFERÊNCIAS

CUNHA, Alessandro F. Power Line Communication – PLC: A Informação que vem pela Tomada. **Revista Saber Eletrônica**, São Paulo, ed. 405, p. 20-26, out. 2006.

CUNHA, Alessandro F. Power Line Communication. **Revista O Setor Elétrico**, São Paulo, ed. 44, set. 2009. Disponível em: <http://www.osestoreletrico.com.br/web/arevista/edicoes/141-plc-power-line-communication.html>>. Acesso em: 26 de Maio 2018.

TROMPOWSKY, JOSE. F. **Estudo da Interferência Eletromagnética Gerada por Redes PLC no Interior de Edificações**. Dissertação (Bacharelado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2005.

CORREA, Josias R. **PLC - Power Line Communications**. 2004. 51 f. Projeto de Final de Curso (Graduação) – Bacharelado em Sistemas de Informação. União Educacional de Minas Gerais, Uberlândia, 2004. Acesso em: 25 de Julho. 2018.

FERREIRA, Marcus Vinícius de Almeida. **PLC - Power Line Communication**. 2005. Departamento de Telecomunicações – Laboratório MIDIACOM Universidade Federal Fluminense (UFF). Disponível em <<http://www.radiocb.com/main/images/pdf/PLC.pdf>>. Acesso em: 17 de Maio 2018.

SANTOS, Túlio Ligneul. **Power Line Communications**. 2008. UFRJ. Disponível em <http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/tulio/index.htm> Acesso em: 16 de abril 2018.

BRANDÃO, Roque Filipe Mesquita. **A solução POWERLINE para o sector residencial**. Neutro à Terra, n. 7, 2012.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais. **Pesquisas e medição das redes de energia elétrica para a aplicação da tecnologia Power line Communications (PLC)**, Belo Horizonte, 2012.

COPEL, Companhia Paranaense de Energia. **Relatório Técnico da Avaliação da Tecnologia Power line Communications (PLC)**, Curitiba, 2010.

PILARSKI, André Luís. **Pesquisa e Análise da Tecnologia Power Line Communications**. 2015. 30 f. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Redes) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

VARGAS, Alessandra A. **Estudo sobre Comunicação de Dados via Rede Elétrica para Aplicações de Automação Residencial/Predial**. 2004. 65 f. Projeto de Diplomação (Graduação) - Engenharia de Computação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

HRASNICA, H.; HAIDINE, A.; LEHNERT, R.; **Broadband Powerline Communications - Network Design**. 1ed. Inglaterra, 2004.

SHAVER, D.; SU, D. H.; POPA, D. **Narrowband OFDM power line communication**. **2013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)**. Anais...IEEE, 2013. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6831530> Acesso em: 11 de Julho 2018.

ANATORY, J.; THEETHAYI, N. **Broadband Power-line Communications Systems: Theory & Applications**. [s.l.] wit press, 2010.

BAHAI, A. R.; SALTZBERG, B. R.; ERGEN, M. **Multi-carrier digital communications: theory and applications of OFDM**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2004.

CARCELLE, X. **Power line communications in practice**. [s.l.] Artech House, 2009.

GOMES, Geraldo Gil R. Códigos Convolucionais. INATEL. Disponível em:<<http://www.inatel.br/docentes/dayan/TP504/Antes2009/ClassNotes/C%C3%B3digos/natp102-2.pdf>> Acesso em: 20 de Julho 2018.

ROSS, Júlio. **Power Line Communications**. 2010. Disponível em <http://www.patruilhadomeiodia.kit.net/curso_power_lines_comu.pdf>. Acesso em: 16 Junho 2018.

ÁVILA, Flávio Rocha; PEREIRA, Carlos Eduardo. Tecnologia **PLC - A Nova Era da Comunicação de Dados em Banda Larga**. Disponível em: <<http://noriegec.cpgec.ufgrs.br/tic2007/artigos/A1126.pdf>>. Acesso em 06 Julho 2018.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Internet Pela Rede Elétrica**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/hotsite/plc/index.cfm>>. Acesso em 30 Junho 2018.

Inteligência em Telecomunicações. TELECO. 2017. **PLC - Power Line Communication**. Disponível:<<http://www.teleco.com.br/plc.asp>>. Acesso em: 10 de Maio 2018.

PARENTE, Dante A. **Estudos de Sistemas PLC**. 2011. 62 f. Projeto de Final de Curso (Graduação) - Engenharia de Teleinformática. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: <http://www.cgeti.ufc.br/monografias/DANTE_AGUIAR_PARENTE.pdf>. Acesso em: 26 Julho de 2018.

Anatel, Agência Nacional de Telecomunicações, **Limites mínimos de velocidade da banda larga ficam mais rigorosos**. <<http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNoticias.do?acao=carregaNoticia&codigo=35544>>. Acesso em: Julho de 2018.

Haniph, A. L., Minkyu, L. A. **IEEE Wireless Communications: Power Line Communication Infrastructure For The Smart Home**. 2013. Florida v. 9, p. 105, Dezembro.

IBGE. **Santo Antônio da Platina**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=412410>>. Acesso em: 25 de Junho 2018.

Belettini, Cassiano Tramontin. **Estudo de Viabilidade da Utilização a Tecnologia Power Line Communication – PLC em Redes Locais em Comparativo com Cabo de Par Trançado**. 2015. 57 f. Dissertação (Bacharelado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2015.

GALDINO, J. F. Modulação adaptativa: princípios e características de desempenho. **Revista Militar de Ciencia e Tecnologia**, p. 17–28, 2008.

LEE, M. **Homeplug 1.0 powerline communication lans: protocol description and performance results**. International Journal of Communication Systems, Wiley Online Library, p. 447–473, 2003.

HAYKIN S. **Sinais e Sistemas**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman. Schaub, T. (1994). Spread Frequency Shift Keying. IEEE Transactions on Communications, vol. 42.

MEDINA, J. F. **Automated Irrigation System using wireless sensor**. 2014. IEEE Transactions on Communications, 63(1), 166-176.

Ferrari, P., Flammini. **Time of arrival estimation in power line communication systems for home smart grids**. In **Precision Clock Synchronization for Measurement Control and Communication (ISPCS)**, 2013 International IEEE Symposium on, 83-88. 2008.

LEMOS, J. P. G., **Avaliação da rede Homeplug para suporte de aplicações industriais**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) Universidade do Porto, Porto, 2011.

MATHIAS, Luis C. **Análise, Modelagem e Implementação de um Sistema de Comunicação via Rede Elétrica para Domótica**. Dissertação. Universidade Estadual de Londrina, Brasil, 2013.

BEZERRA, J. M. B. **Design of connector for measurement in high frequency on anchor rods**. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, v. 45, p. 457-464, 2014.

GIGAFAST. **PN928-EB1**. Disponível em: <<http://www.gigafast.com>>
Acesso em: 26 de Julho de 2018.

ANEXO A – Resolução Normativa Nº 375 ANEEL

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL

RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 375, DE 25 DE AGOSTO DE 2009

Regulamenta a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais.

[Relatório](#)

[Voto](#)

O Diretor-Geral da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto no § 1º do art. 6º da Lei n.º 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, nos incisos IV, VIII, IX, XIII e XVII do art. 3º da Lei n.º 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nos incisos IV, XV e XVI do art. 4º, Anexo I, do Decreto n.º 2.335, de 6 de outubro de 1997, nos artigos 5º e 6º do Regulamento aprovado pela Resolução Conjunta n.º 001 ANEEL/ANATEL/ANP, de 24 de novembro de 1999, o que consta do Processo n.º 48500.000370/09-89, e considerando:

as contribuições recebidas no contexto da Audiência Pública – AP nº010/2009, realizada no período de 12 de março a 11 de maio de 2009, que contribuíram para o aperfeiçoamento deste ato regulamentar, resolve:

Art. 1º Regular a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais.

DAS DEFINIÇÕES

Art. 2º Para os fins desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - *Power Line Communications* – PLC: sistema de telecomunicações que utiliza a rede elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais, tais como: internet, vídeo, voz, entre outros, incluindo *Broadband over Power Line* – BPL.

II – Prestador de Serviço de PLC: toda pessoa jurídica detentora de autorização nos termos da regulamentação da Agência Nacional de Telecomunicações – Anatel para a exploração comercial de serviço de telecomunicações utilizando a tecnologia PLC.

III – Distribuidora: Agente titular de concessão ou permissão federal para prestar o serviço público de distribuição de energia elétrica.

DA ABRANGÊNCIA, ATRIBUIÇÕES E RESPONSABILIDADES

Art. 3º As distribuidoras que atuam no Sistema Interligado Nacional – SIN não podem desenvolver atividades comerciais com o uso da tecnologia PLC, exceto nos casos previstos em lei e nos respectivos contratos de concessão.

Parágrafo único. A distribuidora tem liberdade para fazer uso privativo da tecnologia PLC nas atividades de distribuição de energia elétrica, ou aplicação em projetos sociais, com fins científicos ou

experimentais, observadas as prescrições do contrato de concessão ou permissão e da legislação específica.

Art. 4º O Prestador de Serviço de PLC pode utilizar as instalações de distribuição de energia elétrica para a transmissão analógica ou digital de sinais, e disponibilizar seus serviços de telecomunicação aos seus clientes, de acordo com as normas e padrões técnicos da distribuidora, o disposto nesta Resolução e na regulamentação de serviços de telecomunicações e de uso de radiofrequências da Anatel.

§ 1º A implantação do sistema de PLC pelo prestador desses serviços deve ser precedida da celebração de contrato de uso comum das instalações da distribuidora.

§ 2º As instalações de distribuição de energia elétrica, por serem bens vinculados aos serviços concedidos, devem ter sua manutenção sob controle e gestão da distribuidora, de forma a atender às obrigações contidas no contrato de concessão ou permissão.

§ 3º A prestação dos serviços com o uso da tecnologia PLC não deve comprometer o atendimento aos parâmetros de qualidade da energia elétrica, segurança das instalações e proteção ao meio ambiente estabelecidos pelos órgãos competentes, assim como de obrigações associadas às concessões ou permissões outorgadas pelo Poder Concedente.

§ 4º É vedada, ao prestador de serviços PLC, a cessão ou comercialização com terceiros do direito de uso das instalações de distribuição de energia elétrica.

Art. 5º A destinação do uso das instalações de distribuição de energia elétrica para o desenvolvimento das atividades comerciais com o uso da tecnologia PLC deve ser tratada de forma não discriminatória e a preços livremente negociados entre as partes.

Art. 6º A distribuidora deve disponibilizar suas instalações para o desenvolvimento de atividades comerciais com o uso da tecnologia PLC mediante solicitação formal de algum interessado, ou por interesse próprio.

§ 1º Para disponibilizar suas instalações para o uso da tecnologia PLC, a distribuidora deve dar publicidade antecipada, durante três dias, sobre a infraestrutura e respectivas condições para uso das instalações de distribuição de energia elétrica, em, pelo menos, três jornais, sendo dois de circulação nacional.

§ 2º No ato da publicidade, deve ser dado prazo não inferior a 60 (sessenta) dias para apresentação das novas solicitações de uso das instalações para desenvolvimento da tecnologia PLC.

§ 3º A distribuidora deve fornecer todas as informações às empresas interessadas para a realização de estudos técnicos e econômicos relativos ao desenvolvimento de atividades comerciais com o uso da tecnologia PLC, os quais são de responsabilidade do interessado.

Art. 7º A solicitação de uso das instalações de distribuição de energia elétrica para o desenvolvimento das atividades comerciais com o uso da tecnologia PLC deve ser feita formalmente, por escrito, e conter as informações técnicas necessárias para a análise de viabilidade de disponibilização da infraestrutura, bem como o plano de implantação, a demonstração da capacidade de execução do referido plano e o valor a ser pago pelo contrato de uso comum.

§ 1º A distribuidora somente poderá negar a solicitação devido à limitação na capacidade, segurança, confiabilidade ou violação de requisitos de engenharia.

§ 2º Em todos os casos previstos no parágrafo anterior, a distribuidora deve fornecer a justificativa com o devido embasamento, em até 60 (sessenta) dias após o recebimento da solicitação formal do interessado.

Art. 8º A distribuidora deve selecionar o Prestador de Serviço de PLC considerando o atendimento a todos os requisitos técnicos e o maior valor a ser pago pelo contrato de uso comum.

Parágrafo Único A escolha do Prestador de Serviço de PLC deve ocorrer em até 30 (trinta) dias após o término do prazo estabelecido no §2º do art. 6º.

DAS RELAÇÕES CONTRATUAIS

Art. 9º Os critérios para celebração de atos e negócios jurídicos entre distribuidoras, suas sociedades controladas ou coligadas e outras sociedades controladas ou coligadas de controlador comum, no que tange à habilitação de prestador de serviços de PLC, considerado como parte relacionada, são os estabelecidos na Resolução Normativa nº 334, de 21 de outubro de 2008.

Art. 10. O contrato de uso comum das instalações de distribuição com o Prestador de Serviço de PLC deve dispor sobre as condições gerais dos serviços a serem prestados bem como as condições técnicas, operacionais, comerciais e responsabilidades mútuas a serem observadas.

§ 1º Objetivando resguardar as obrigações associadas às concessões ou permissões, cabe à distribuidora estabelecer, no contrato de uso comum de suas instalações com o Prestador de Serviço de PLC, cláusulas que definam responsabilidades e prazos para ressarcimento por eventuais danos causados a sua infraestrutura e que assegurem a prerrogativa de a mesma fiscalizar as obras do prestador de serviços, tanto na implantação do sistema quanto na manutenção e adequação.

§ 2º Os contratos devem revestir-se de todas as formalidades técnicas e legais, bem como observar as disposições contábeis previstas no Manual de Contabilidade do Setor Elétrico, instituído pela Resolução nº 444, de 26 de outubro de 2001.

§ 3º Os contratos devem conter Acordo Operativo observando, no que couber, o disposto no Anexo I da Seção 3.5 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

§ 4º Caso a distribuidora deseje utilizar a infraestrutura do Prestador de Serviço de PLC para atendimento às suas necessidades e interesses dos serviços públicos de distribuição de energia elétrica, o contrato de uso comum deve conter as condições para essa utilização.

Art. 11. Havendo necessidade de modificação ou adaptação das instalações da distribuidora, os custos decorrentes devem ser atribuídos ao Prestador de Serviço de PLC.

Art. 12. Os equipamentos a serem utilizados na composição do sistema de PLC que serão integrados às instalações de distribuição de energia elétrica devem obedecer à regulamentação específica da Anatel.

DAS DISPOSIÇÕES GERAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 13. Para execução dos serviços nas instalações da distribuidora, o prestador de serviços de PLC deve observar as condições estabelecidas na Norma Regulamentadora NR 10 do Ministério do Trabalho - Instalações e Serviços em Eletricidade e outras aplicáveis, que estabelecem as condições

mínimas exigíveis para garantir a segurança dos empregados que trabalham em instalações elétricas e, também, de usuários e terceiros.

Art. 14. As receitas relativas à realização do objeto contratual devem ser contabilizadas em separado pelas distribuidoras, de forma a permitir, a qualquer tempo, a identificação dos valores relativos às operações de que trata esta Resolução pela ANEEL.

Art. 15. A apuração das receitas do uso das instalações de distribuição nas atividades com o uso do PLC terá reversão em prol da modicidade tarifária, nos termos da legislação específica estabelecida pela ANEEL.

Art. 16. Para fins de fiscalização pela ANEEL, a distribuidora deve manter as solicitações de uso das instalações de distribuição de energia elétrica para o desenvolvimento das atividades com o uso da tecnologia PLC, bem como as justificativas das negativas ao pedido ou o contrato de uso comum resultante da solicitação, em registro eletrônico e/ou impresso, de forma organizada e auditável, pelo período mínimo de cinco anos, contados da data do recebimento da solicitação.

Art. 17. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

NELSON JOSÉ HÜBNER MOREIRA

Este texto não substitui o publicado no D.O. de 28.08.2009, seção 1, p. 110, v. 146, n. 165.

ANEXO B – Resolução Normativa Nº 527 ANATEL

Resolução nº 527, de 8 de abril de 2009

Publicado: Segunda, 13 Abril 2009 13:33 | Última atualização: Quarta, 06 Dezembro 2017 14:50 | Acessos: 7637

Aprova o Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências por Sistemas de Banda Larga por meio de Redes de Energia Elétrica.

Observação: Este texto não substitui o publicado no DOU de 13/04/2009.

O CONSELHO DIRETOR DA AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, no uso das atribuições que lhe foram conferidas pelo art. 22 da Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, e pelo art. 35 do Regulamento da Agência Nacional de Telecomunicações, aprovado pelo Decreto nº 2.338, de 7 de outubro de 1997,

CONSIDERANDO que, de acordo com o disposto no inciso VIII, do art. 19, da Lei nº 9.472, de 1997, cabe à Anatel administrar o espectro de radiofrequências, expedindo as respectivas normas;

CONSIDERANDO que, de acordo com o disposto no art. 159 da Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, serão consideradas na destinação das faixas, as atribuições, distribuições e consignações existentes, objetivando evitar interferências prejudiciais;

CONSIDERANDO que, de acordo com o disposto no art. 160 da Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, poderá ser restringido o emprego de radiofrequências com o objetivo de regular o uso eficiente do espectro;

CONSIDERANDO as contribuições recebidas em decorrência da Consulta Pública nº 38, de 25 de agosto de 2008, publicada no Diário Oficial da União de 26 de agosto de 2008;

CONSIDERANDO o que consta do processo nº 53500.017793/2008;

CONSIDERANDO deliberação tomada em sua Reunião nº 517, realizada em 2 de abril de 2009,

RESOLVE:

Art. 1º Aprovar o Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências por Sistemas de Banda Larga por meio de Redes de Energia Elétrica (BPL).

Art. 2º Estabelecer que as atualizações quanto ao centro das zonas de proteção e exclusão de estações costeiras e terrestres definidas nos Anexos I, II e III do Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências por Sistemas de Banda Larga por meio de Redes de Energia Elétrica, quando solicitadas pelas Forças Armadas ou Órgãos de Segurança, serão realizadas por ato da Superintendência competente para tratar da administração do uso do espectro de radiofrequências, e disponibilizadas na página da Anatel na Internet.

Art. 3º Estabelecer que, caso o funcionamento de estações que utilizem sistemas BPL estiver associado à exploração do serviço de telecomunicações, será necessária a correspondente autorização do Serviço de Comunicação Multimídia ou do Serviço Limitado Privado, bem como o licenciamento das estações que se destinem à:

- a) interligação às redes das prestadoras de serviços de telecomunicações; ou
- b) interligação a outras estações da própria rede por meio de equipamentos que não sejam de radiação restrita;

Art. 4º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

RONALDO MOTA SARDENBERG

Presidente do Conselho

ANEXO À RESOLUÇÃO Nº 527, DE 8 DE ABRIL DE 2009

REGULAMENTO SOBRE CONDIÇÕES DE USO DE RADIOFREQUÊNCIAS POR SISTEMAS DE BANDA LARGA POR MEIO DE REDES DE ENERGIA ELÉTRICA

CAPÍTULO

DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 1º Este Regulamento tem por objetivo estabelecer as condições de uso de radiofrequências por sistema de “banda larga por meio de redes de energia elétrica” (BPL), em especial quanto às radiações indesejadas causadas por estes sistemas.

Art. 2º A comunicação a ser estabelecida pelo sistema BPL, confinada nas redes de energia elétrica, somente poderá ocorrer na faixa de radiofrequências de 1,705 MHz a 50 MHz.

Art. 3º Os equipamentos que compõem o sistema BPL serão tratados como equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita e operam em caráter secundário.

CAPÍTULO II

DAS DEFINIÇÕES

Art. 4º Para os efeitos deste Regulamento, considera-se:

- I - BPL: banda larga por meio de redes de energia elétrica;
- II - Faixas de exclusão: faixas de radiofrequências em que os sistemas BPL não poderão emitir sinais;
- III - Interferência Prejudicial: qualquer emissão, irradiação ou indução que obstrua, degrade seriamente ou interrompa repetidamente a telecomunicação;
- IV - Linha de distribuição de Baixa Tensão (BT): linha de distribuição de energia elétrica com tensão nominal igual ou inferior a 1kV, situada entre os transformadores da rede de distribuição de energia elétrica e as instalações do usuário BPL, podendo ser aérea ou subterrânea;
- V - Linha de distribuição de Média Tensão (MT): linha de distribuição de energia elétrica com tensão nominal maior que 1 kV e menor que 69 kV, situada entre as subestações e os transformadores da rede de distribuição de energia elétrica, podendo ser aérea ou subterrânea;

VI - Radiação indesejada: fluxo de energia indesejado liberado sob a forma de ondas de rádio, por uma fonte qualquer;

VII - Rede de distribuição de Baixa Tensão (RBT): conjunto de instalações de distribuição de energia elétrica, com tensão nominal igual ou inferior a 1 kV;

VIII - Rede de distribuição de Média Tensão (RMT): conjunto de instalações de distribuição de energia elétrica, com tensão nominal maior que 1 kV e menor que 69 kV;

IX - Zona de proteção de estações costeiras: compreende a área circunscrita ao círculo de raio de 1 km com centro nas coordenadas geográficas das estações costeiras listadas no Anexo I;

X - Zona de proteção de estações terrestres: compreende a área circunscrita ao círculo de raio de 1 km com centro nas coordenadas geográficas das estações terrestres listadas no Anexo II;

XI - Zona de exclusão de estações terrestres: compreende a área circunscrita ao círculo de raio de 1 km com centro nas coordenadas geográficas das estações terrestres listadas no Anexo III;

XII - Zona de exclusão de presídios: compreende a área restrita aos limites dos estabelecimentos penitenciários.

CAPÍTULO III

DOS REQUISITOS GERAIS

Art. 5º As radiações indesejadas causadas por sistemas BPL, operando na rede de distribuição de Baixa Tensão, devem estar limitadas aos valores descritos na Tabela I.

Tabela I

Limites de radiações indesejadas causadas por sistemas BPL de RBT

Faixa de frequências (MHz)	Intensidade de campo (microvolt por metro)	Distância da Medida (metro)
1,705-30	30	30
30-50	100	3

Art. 6º As radiações indesejadas causadas por sistemas BPL, operando na rede de distribuição de Média Tensão, devem estar limitadas aos valores descritos na Tabela II.

Tabela II

Limites de radiações indesejadas causadas por sistemas BPL de RMT

Faixa de frequências (MHz)	Intensidade de campo (microvolt por metro)	Distância da Medida (metro)
1,705-30	30	30
30-50	90	10

Art. 7º Os sistemas BPL devem possuir as seguintes características técnicas:

I - incorporar técnicas de mitigação de interferências que possibilitem reduzir remotamente a potência do sinal e remanejar as frequências em operação em tais sistemas, incluindo filtros ou permitindo o completo bloqueio de radiações indesejadas em frequências ou de faixas de frequências, em conformidade com este Regulamento.

II - para frequências abaixo de 30 MHz, quando da utilização de filtros para evitar interferência em uma faixa de radiofrequências específica, os filtros devem ser capazes de atenuar as radiações indesejadas dentro desta faixa a um nível de, pelo menos, 20 dB abaixo dos limites especificados neste Regulamento.

III - para frequências acima de 30 MHz, quando da utilização de filtros para evitar interferência em uma faixa de radiofrequências específica, os filtros devem ser capazes de atenuar as radiações indesejadas dentro desta faixa a um nível de, pelo menos, 10 dB abaixo dos limites especificados neste Regulamento.

IV - manter as configurações de mitigação de interferência, mesmo quando houver falta de energia na rede ou quando o equipamento for desligado e religado, de forma consecutiva ou esporádica.

V - dispor de mecanismo que possibilite, remotamente, a partir de uma central de controle, o desligamento da unidade causadora de interferência prejudicial, caso outra técnica de mitigação não alcance o resultado esperado.

CAPÍTULO IV

DOS REQUISITOS ESPECÍFICOS

Art. 8º A operação do sistema BPL em RMT não poderá provocar radiações indesejadas nas faixas de exclusão listadas na Tabela III, que abrangem faixas de radiofrequências atribuídas ao Serviço Móvel Aeronáutico (R) e Radioamador.

Parágrafo único. As faixas de radiofrequências que vierem a ser atribuídas e destinadas posteriormente ao Serviço Móvel Aeronáutico (R) no segmento do espectro compreendido entre 1,705 MHz e 50 MHz também serão consideradas faixas de exclusão.

Tabela III
Faixas de Exclusão

Faixa de frequências (MHz)
2,754-3,025
3,400-3,500
4,453-4,700
5,420-5,680
6,525-6,876
6,991-7,300

8,815-8,965
10,005-10,123
11,275-11,400
13,260-13,360
13,927-14,443
17,900-17,970
21,000-21,450
21,924-22,000
28,000-29,700

Art. 9º Dentro das zonas de proteção de estações costeiras deverão ser observados os seguintes critérios:

I - Na faixa de radiofrequências de 2,1735-2,1905 MHz, fica vedada a operação de quaisquer sistemas BPL.

II - Nas faixas de radiofrequências listadas na Tabela IV, atribuídas ao Serviço Móvel Marítimo, os limites de radiação indesejada causada pelos sistemas BPL em RMT devem estar atenuados a um nível de, pelo menos, 10 dB abaixo dos limites especificados nos arts. 5º e 6º deste Regulamento.

Tabela IV

Faixas de Radiofrequências relativas à zona de proteção de estações costeiras

Faixa de frequências (MHz)
4,122-4,128
4,177-4,178
4,207-4,208
6,212-6,218
6,268-6,269
6,312-6,313
8,288-8,294
8,364-8,365
8,376-8,377
12,287-12,293

12,520-12,521
12,577-12,578
16,417-16,423
16,695-16,696
19,680-19,681
22,376-22,377
26,100-26,101

Art. 10. Dentro das zonas de proteção de estações terrestres, na faixa de radiofrequências de 1,705 MHz a 30 MHz, fica vedada a operação de quaisquer sistemas BPL.

Art. 11. Dentro das zonas de exclusão de estações terrestres e de presídios, fica vedada a operação de quaisquer sistemas BPL.

Art. 12. As Forças Armadas e/ou os Órgãos de Segurança, quando no cumprimento de suas missões constitucionais, poderão notificar a Anatel sobre a região geográfica e as faixas de radiofrequências que serão utilizadas.

§ 1º A Anatel informará ao operador do sistema BPL, que deverá proceder aos ajustes necessários, imediatamente, para não causar interferências prejudiciais aos sistemas daquelas entidades, incluindo a interrupção do serviço, se for o caso.

§ 2º No caso de interrupção do serviço BPL, por prazo superior a 5 dias, a Anatel poderá, por solicitação do operador do sistema BPL, intermediar e mediar junto às Forças Armadas e/ou Órgãos de Segurança, na busca por uma solução que permita o restabelecimento da porção do serviço BPL que foi interrompido.

§ 3º O não cumprimento do estabelecido no caput implicará, por solicitação das Forças Armadas e/ou Órgãos de Segurança, ações da Anatel, que determinarão novas zonas de exclusão e faixas de radiofrequências onde ficará vedado o uso de sistemas BPL, além das sanções administrativas cabíveis.

CAPÍTULO V

DO CONTROLE DO USO DE RADIOFREQUÊNCIAS

Art. 13. Adicionalmente às obrigações provenientes da autorização do serviço de telecomunicação pertinente, a prestadora do serviço de telecomunicações que fizer uso de sistema BPL deve prestar à Anatel, em até 30 dias antes de início de operação comercial, informações necessárias para a criação e manutenção de uma base de dados pública, disponível a quaisquer interessados, atualizando-as na entrada de operação do serviço e sempre que houver alterações, e especialmente:

- I - a identificação da prestadora do serviço de telecomunicações;
- II - o fabricante do equipamento BPL e os dados da estação certificada em utilização;
- III - a latitude e longitude de todas as estações, exceto as estações terminais do usuário;
- IV - o endereço completo, incluindo o CEP, da localidade atendida;

V - a faixa de radiofrequências de operação do sistema BPL;

VI - a data prevista para o início da operação;

VII - a data de entrada em operação; e

VIII - o contato do operador do sistema em cada localidade, incluindo telefone e correio eletrônico.

Parágrafo único. Os sistemas existentes na data de publicação deste Regulamento terão 30 dias para se adequarem ao estabelecido neste artigo.

Art. 14. Antes do início da operação comercial do sistema BPL, a prestadora do serviço de telecomunicações deverá fornecer às Forças Armadas e Órgãos de Segurança locais, assim como às Associações de Radiodifusão e Radioamadorismo da Unidade da Federação as informações enumeradas nos incisos I, IV, V e VIII do artigo 13 deste Regulamento.

Parágrafo único. Em caso de interferência prejudicial, a entidade afetada deverá notificar a prestadora do serviço de telecomunicações, que se comprometerá a aplicar técnicas adicionais de mitigação de interferências, conforme o art. 15 deste Regulamento.

Art. 15. Se, após o início da operação comercial da estação do sistema BPL, for detectada a existência de alguma interferência prejudicial deverá ser observada:

I - se a estação interferida opera em caráter primário, a estação BPL interferente deverá imediatamente cessar a sua transmissão e proceder aos ajustes necessários para eliminar a interferência;

II - se a estação interferida também opera em caráter secundário, os interessados devem proceder à coordenação de uso das radiofrequências de forma a eliminar as interferências.

CAPÍTULO VI

DAS DISPOSIÇÕES TRANSITÓRIAS E FINAIS

Art. 16. Os equipamentos que compõem o sistema BPL devem:

I - possuir certificação expedida ou aceita pela Anatel, de acordo com a regulamentação vigente;

II - atender às normas cabíveis, referentes ao sistema elétrico, expedidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Art. 17. Os sistemas existentes até a data de publicação deste Regulamento, em desacordo com o aqui estabelecido, podem continuar em operação até 30 de junho de 2010, após o que deverão cessar sua operação.

Art. 18. A Anatel definirá critérios, procedimentos e sistemas específicos que permitam aos interessados prover o cadastramento previsto no art. 13 deste Regulamento.

Parágrafo único. Até que tais critérios, procedimentos e sistemas sejam especificados, as operadoras deverão armazenar as informações relacionadas no art. 13 para acesso pela Anatel, quando solicitado.